



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo
INSUMOS BÁSICOS



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
INSUMOS BÁSICOS

FOCO SETORIAL
Siderurgia

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
INSUMOS BÁSICOS

©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 insumos básicos/Instituto Euvaldo Lodi, Germano Mendes de Paula. -- Brasília: IEL/NC, 2018.

101 p. il. (Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas)

1. Cluster Tecnológico 2. Sistemas Produtivos 3. Insumos Básicos 4. Siderurgia
I. Título

CDU: 669.1

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	17
1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE INSUMOS BÁSICOS E DO FOCO SETORIAL SIDERURGIA	21
1.1 Panorama internacional	21
1.2 Panorama no Brasil	27
2 OS <i>CLUSTERS</i> TECNOLÓGICOS RELEVANTES	37
2.1 Identificação das tecnologias relevantes	37
2.2 Experiência internacional	40
2.3 Experiência das empresas brasileiras	47
2.4 Conclusão	66
3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES	71
3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais.....	71
3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas	75
3.3 Desafios para a indústria brasileira	76
3.4 Implicações.....	78
REFERÊNCIAS	81
ANEXO - DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP INSUMOS BÁSICOS	85
A1 Caracterização do painel de respondentes	85
A2 Resultados.....	87
A3 Considerações finais	101



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.

O presente documento traz um panorama de insumos básicos no Brasil e no mundo. A partir de dados de pesquisa de campo realizada com empresas, o estudo mostra uma pequena difusão de tecnologias no setor, mas aponta que há expectativas positivas para 2027. Também apresenta as tecnologias que serão relevantes para a maior parte dos insumos básicos, como é o caso da internet das coisas, das tecnologias de redes de comunicação e da inteligência artificial.

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. Além disso, busca fornecer subsídios para o planejamento corporativo de empresas e para a formulação de políticas públicas, visando estratégias de emparelhamento da indústria *vis-à-vis* às 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 retângulos de tecnologia: 'TICS: COMPUTAÇÃO EM NUVEM, BIG DATA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL' (topo), 'TICS: LOT, SISTEMAS E EQUIPAMENTOS' (topo-esquerda), 'BIOPROCESSOS BIOTECNOLOGIAS AVANÇADAS' (esquerda), 'NANOTECNOLOGIA' (fundo-esquerda), 'MATERIAIS AVANÇADOS' (fundo), 'TICS: REDES' (topo-direita), 'PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA' (direita) e 'ARMAZENAMENTO DE ENERGIA' (fundo-direita).

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 Seriadados, Equipamentos de GTD
Complexo Automotivo	Veículos Leves
Aeroespacial, Defesa	Aeronáutica
TICs	Sistemas e Equipamentos de Telecom Microeletrônica <i>Software</i>
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) estas 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. Nesse horizonte temporal essas tecnologias podem constituir ameaças e oportunidades para empresas estabelecidas ou novas, bem como implicar no 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 dessas 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 junto a uma amostra representativa de Sistemas Produtivos (em torno de 750 empresas), onde se buscaram informações sobre o 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 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 produtivos? Como elas impactarão cada sistema produtivo? Quais são os maiores riscos e oportunidades para o Brasil? e (ii) Qual é a capacidade de resposta atual e potencial do sistema empresarial? Quais são os requisitos técnicos, empresariais, institucionais e financeiros para aproveitar oportunidades e defletir os riscos que as inovações disruptivas podem representar?



RESUMO EXECUTIVO

O panorama atual do sistema de insumos básicos mundial indica uma difusão baixa dos *Clusters Tecnológicos*, mas há indícios de aumento para uma difusão moderada em 2022 e alta em 2027. No que se refere aos setores específicos, o ano de 2027 indica alta difusão nas indústrias de alumínio, cimento, mineração e celulose, enquanto a siderurgia aposta numa adoção moderada.

Quanto à situação brasileira, com exceção da celulose, as empresas consultadas relataram persistir, ainda, alguma defasagem tecnológica frente às melhores práticas internacionais. Elas acompanham de perto o que é feito em outros países, preocupam-se com a ampliação do hiato tecnológico e compreendem que é necessário acelerar os esforços nacionais.

Dados da pesquisa de campo revelam que hoje, 21,4% das empresas brasileiras utilizam as tecnologias da geração digital mais recentes, relativas às gerações 3 ou 4, sendo que apenas 1,4% do painel já adota tecnologias da geração digital 4. Em 2027, 20,2% dos respondentes esperam estar na geração digital 4.0. Nas gerações 3 ou 4 estariam 53,9% das empresas do sistema produtivo de Insumos Básicos. Nesse sistema, 60,9% dos respondentes atribuíram probabilidade alta ou muito alta de a geração 4.0 de tecnologias digitais ser dominante até 2027. Na comparação de 2017 com 2027, os maiores níveis em termos da adoção das tecnologias digitais da geração 4 são esperados na função de Relacionamento com fornecedores (30,4%) e de Gestão de negócios (20,0%).

As evidências mostram que a intensidade dos esforços para incorporação das tecnologias da geração 4.0 nas atividades das empresas é ainda bastante limitada. Considerando a composição das diversas funções organizacionais, o percentual de empresas com ações efetivamente em execução atinge 13,5%; por outro lado, se forem consideradas também as empresas com projeto aprovado, mas não iniciado, esse percentual se eleva para 26,2%.

De modo geral, a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), as tecnologias de redes de comunicação (redes) rápidas e seguras, a inteligência artificial (IA), o *big data*, a computação em nuvem e a produção inteligente e conectada serão relevantes para a maior parte dos insumos básicos. Contudo, até 2027 nenhum deles tende a ser revolucionado em termos de tecnologia ou de modelo de negócios. A única provável exceção é que se considera uma maior possibilidade de desintermediação, o que colocaria em risco os distribuidores independentes de produtos siderúrgicos.

Levando em conta que tais *Clusters* reforçam as características atuais da indústria, se baseiam em investimentos relativamente baixos (comparativamente ao padrão de cada setor) e podem gerar resultados e retornos (*paybacks*) rápidos, é razoável acreditar que as companhias brasileiras de insumos básicos tenham muitos incentivos para se engajar em uma difusão mais rápida desses *Clusters*.

É muito provável, portanto, que a estratégia competitiva predominante no sistema seja a adoção recorrente de inovações incrementais, uma vez que vários produtos são *commodities* e as inovações radicais são pouco frequentes nesses setores, que têm uma intensidade de pesquisa menor que a da manufatura em geral. O setor de celulose se diferencia ao indicar uma difusão mais elevada para Materiais Avançados e Materiais Nanoestruturados, além de Biotecnologia e Bioprocessos avançados.

Em linhas gerais, a siderurgia no Brasil segue as mesmas tendências da indústria mundial. As siderúrgicas brasileiras possuem baixo grau de diversificação produtiva. Elas se distinguem pelo uso de altos-fornos a carvão vegetal com produção expressiva e pela elevada participação de semiacabados nas exportações.

A integração vertical é importante para as siderúrgicas brasileiras, em particular na mineração de ferro e, em menor intensidade, em ativos logísticos e florestais. Porém, seus esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D) se mantiveram em níveis relativamente tímidos frente aos líderes tecnológicos da indústria, e os equipamentos – principal fonte de inovações no setor – são crescentemente fornecidos por fabricantes estrangeiros. A percepção das siderúrgicas é que a difusão atual dos *Clusters* Tecnológicos na siderurgia brasileira é incipiente e seus desafios em âmbito nacional incluem:

- Um tratamento estruturado e organizado do tema.
- A construção de um ecossistema que facilite a implementação dessas tecnologias.
- A ruptura com a dependência tecnológica frente a outros países.
- O aumento do investimento nessas tecnologias, consideradas de fácil adaptação à realidade nacional.

Já em âmbito setorial, destacam-se a dificuldade de investir em um contexto macroeconômico desfavorável, em particular para os setores focalizados no mercado doméstico. Concorrem problemas tecnológicos relativos aos sistemas legados e o parque de máquinas, com ciclo de vida de 20 a 30 anos, sugerindo que a transformação em um novo modelo de negócios requer que o mercado exija ou remunere pelo novo produto ou serviço.

No interior das empresas, diagnosticou-se a predominância de um modelo conservador e tradicional, indicando a necessidade de:

- Mudança cultural na estrutura organizacional rumo a uma mentalidade mais ágil e de maior aproveitamento das novas tecnologias para ganho de competitividade.
- Compreensão profunda das novas tecnologias e processos de trabalho.

- Maior interação com *startups*, empresas de alta tecnologia, universidades e centros de pesquisa.

Em termos políticos, conclui-se que o desenvolvimento do ecossistema da Indústria 4.0 no Brasil demanda sobretudo um projeto conjunto entre Governo e demais instituições para integrar os instrumentos de governança nacional efetiva. Esses esforços devem contemplar:

- **Aspectos financeiros:** incentivos às atividades inovadoras.
- **Formação de recursos:** capacitação de empreendedores e técnicos de automação.
- **Aspectos regulatórios:** diminuição da burocracia para abertura e fechamento de empresas e flexibilização das relações de trabalho.
- **Adensamento do sistema nacional de inovações:** cooperação entre o setor produtivo e a comunidade acadêmica.
- **Aspectos tecnológicos:** reversão da fragilidade da infraestrutura de Internet no país.



INTRODUÇÃO

Esse documento discute os impactos das inovações disruptivas sobre setores da indústria brasileira agrupados sob a denominação de insumos básicos, que compreende: siderurgia, mineração, metalurgia, cimento, cerâmica, vidro e celulose. O conjunto possui alguns aspectos em comum, como a alta intensidade do capital, estrutura de mercado de oligopólio homogêneo e baixo dinamismo de mudanças tecnológicas.

Entretanto, como seria de se esperar, se diferenciam por fatores como a orientação comercial – atendimento predominante ao mercado doméstico *versus* exportação –, a inserção em diferentes cadeias produtivas, a competitividade de seus custos, a taxa de crescimento da demanda e o nível de utilização da capacidade instalada (NUCI). No âmbito desse agrupamento de setores, o foco setorial privilegiou a siderurgia.

A siderurgia é responsável pela fabricação de aço em forma de semiacabado, laminado, relaminado, trefilado e tubo sem costura. É considerada um ramo da metalurgia, no qual ocorre a conversão de minérios ferrosos e não ferrosos em produtos metalúrgicos e produtos intermediários do processo.

Figurando como fornecedora dos principais insumos para o setor metalúrgico e, conseqüentemente, para as indústrias siderúrgicas, encontra-se a indústria extrativa, que compreende as atividades de extração de minerais e eventualmente algumas atividades complementares de beneficiamento associadas ao processo de extração.

Já os setores consumidores utilizam o aço produzido para a fabricação de uma série de bens, como máquinas, equipamentos, automóveis e eletrodomésticos, além da construção civil – atividade mais importante no mundo quanto ao consumo de produtos siderúrgicos, correspondendo a 50% da demanda siderúrgica global.

A rota tecnológica predominante no setor siderúrgico é a usina integrada a coque, que contempla a fabricação de ferro-gusa em um alto-forno a coque – ou seja, à base de carvão mineral –, uma aciaria básica a oxigênio, e a laminação.

Já uma usina semi-integrada é aquela que fabrica aço a partir de sucata. O processo começa na aciaria, não necessitando, portanto, de equipamentos de redução do minério de ferro. Como essa rota tecnológica é mais compacta, tais usinas são frequentemente denominadas de *mini-mills*. Isso não requer necessariamente que sejam de pequeno porte, embora na prática o tamanho médio de usinas semi-integradas seja consideravelmente inferior ao das usinas integradas a coque.

Uma usina integrada à redução direta é composta de módulo de redução direta, aciaria elétrica e laminação. O módulo de redução direta utiliza ferro e gás natural – ou carvão mineral não coqueificável – como insumos principais, fabricando o ferro diretamente reduzido (*direct-reduced iron* – DRI) e o ferro briquetado a quente (*hot-briquetted iron* – HBI).

Apesar das diferenças quanto às rotas tecnológicas – e suas implicações quanto aos insumos utilizados, à escala produtiva, ao grau de flexibilidade operacional e ao *mix* de produtos –, o fato concreto é que, em geral, as usinas siderúrgicas contemplam desde a matéria-prima até os produtos finais. Portanto, as etapas da cadeia de valor tendem a estar localizadas predominantemente em um mesmo sítio industrial. As principais exceções são as chamadas *finishing facilities*, cujo exemplo mais relevante são as plantas de galvanização, que muitas vezes estão distantes da usina siderúrgica que lhes fornece a bobina laminada a frio para conversão em chapas galvanizadas.

A visão preponderante é que algumas tecnologias disruptivas são complementares, de tal forma que a difusão de uma acaba facilitando e estimulando uma maior utilização das demais. Na verdade, em relação aos sete *Clusters* analisados, foram observadas três situações distintas no que tange à indústria siderúrgica global.

Primeiro, há muita convergência entre os *Clusters* de IoT, Redes, IA e *big data*, computação em nuvem e Produção Inteligente e Conectada, sendo a última compreendida como a mais abrangente e agregadora das demais. Segundo, o *Cluster* de Materiais Avançados possui uma dinâmica própria e seus impactos são diferentes dos *Clusters* já mencionados, pois implica competição com sucedâneos e a trajetória tecnológica de produção de aços mais sofisticados. Em outras palavras, o desenvolvimento de Materiais Avançados pode potencializar o uso do aço, assim como substituí-lo em diversas aplicações. Terceiro, os *Clusters* de Materiais Nanoestruturados e Armazenamento de Energia são e continuarão a ser menos relevantes para a siderurgia mundial.



1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE INSUMOS BÁSICOS E DO FOCO SETORIAL SIDERURGIA

1.1 Panorama internacional

Entre os anos 2005 e 2015, a grande maioria dos setores da indústria brasileira agrupados sob a denominação de insumos básicos apresentou aumento de participação no valor da transformação industrial (VTI) mundial. A metalurgia básica, que contempla setores como siderurgia e alumínio, por exemplo, passou de 9,8% em 2005 para 10,7% em 2015. Também a fatia dos produtos de minerais não metálicos (inclusive cimento, cerâmica e vidro) se expandiu de 5,2% para 5,5%. Apenas o setor de celulose e papel diminuiu sua importância relativa no VTI global, de 2,8% em 2005 para 2,6% em 2015 (IEDI, 2017).

Em termos prospectivos, para o período 2017-2022 a taxa anual de crescimento composto (TACC) da produção mundial de vários minerais e metais apresenta grande variação em perspectiva de dinamismo (Tabela 1). O destaque positivo do lítio e do cobalto – decorrentes da difusão crescente de baterias, em particular para veículos elétricos – evidencia a tendência à expansão de demanda do *Cluster Tecnológico de Armazenamento de Energia para alguns metais* (MACQUARIE, 2017a).

Tabela 1 – Taxa Anual de Crescimento Composto (TACC) da produção mundial de minerais e metais, 2017-2022

Mineral/metalo	TACC (%)
Carvão térmico	-1,0
Platina	-0,5
Ouro	-0,5
Aço	0
Estanho	0,6
Carvão mineral	0,8
Urânio	0,8
Cobre	1
Alumínio	1,7
Zinco	2,6
Níquel	4,3
Chumbo	5,1
Cobalto	8,9
Lítio	11,1

Fonte: Elaboração própria com base em dados de Macquarie (2017a).

No caso da celulose, o BTG Pactual (2017) estimou uma TACC de 3,1% para a totalidade do mercado no período 2017-2019, sendo 4,6% para a celulose *kraft* branqueada de fibra curta (*bleached hardwood kraft pulp* – BHKP) e 1,0% para celulose *kraft* branqueada de fibra longa (*bleached softwood kraft pulp* – BSKP).

Cabe também destacar que o nível de utilização da capacidade instalada (NUCI) da indústria mundial de celulose se encontra em patamares muito elevados – 93% em 2017, 91% em 2018 e 93% em 2019 – quando comparada ao demais insumos básicos, como a siderurgia – 69% em 2016.

A siderurgia é uma atividade muito difundida no mundo, com 94 países produzindo 1,63 bilhão de toneladas de aço bruto em 2016 e uma demanda mundial da ordem de 1,52 bilhão de toneladas. Entretanto, em resposta à retração da atividade econômica provocada pela crise internacional de 2007-2008, a demanda global de aço registrou uma tímida expansão de 0,4% em 2008 e uma aguda retração de 6,4% em 2009.

Diante da dramática reversão de expectativas quanto ao crescimento do PIB global em 2008-2009, muitos governos – inclusive o brasileiro – adotaram políticas públicas anticíclicas. Isto proporcionou uma ampliação de 14,0% do mercado mundial siderúrgico em 2010, mas tal tendência não se mostrou sustentável. No período 2011-2014 constata-se um padrão muito instável do crescimento, intercalando anos muito favoráveis (2011 e 2013) com anos insatisfatórios (2012 e 2014).

Para agravar a situação, a demanda global de produtos siderúrgicos regrediu 2,9% em 2015, com um fraco incremento de 1,0% em 2016. O consumo mundial aumentou a um ritmo anual médio de 2,7% no período 2008-2016, contra 6,2% nos anos 2000-2008 (WSA, 2017).

A Associação Mundial do Aço (*World Steel Association* – WSA) estima que a demanda mundial de produtos siderúrgicos será equivalente a 1,6 bilhão de toneladas em 2020, 1,7 bilhão de toneladas em 2025 e 1,9 bilhão de toneladas em 2035 (BASSON, 2017). Como consequência, a TACC seria de 1,3% nos períodos 2016-2020 e 2020-2025 e de 1,0% nos anos 2025-2035. Ou seja, o incremento da demanda mundial deve ser muito gradual nos próximos 18 anos.

Considerando que a capacidade instalada atual totaliza 2,39 bilhões de toneladas de aço bruto, o parque atual não precisaria ser aumentado nos próximos 18 anos para abastecer a demanda global (BASSON, 2017). Isso é um forte indício de quão longo e profundo será o ajuste que a indústria siderúrgica deve vivenciar.

Ainda em termos de demanda, destaca-se o importante crescimento da participação chinesa como mercado de produtos da siderurgia, com uma expansão de 18,2% em 2000 para 36,4% em 2008 e 47,9% em 2009. Naquele ano, o governo chinês implementou um pacote de estímulo macroeconômico de US\$ 590 bilhões, que resultou em um consumo adicional de aço de 116 milhões de toneladas (CITI, 2012). Desde 2010,

a fatia da China na demanda global de aço tem oscilado ao redor do patamar de 46%. Destaca-se sua participação de 45,0% em 2016 diante das diferentes regiões do globo (WSA, 2017), conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Participação na demanda mundial de aço por regiões, 2016

Região	Participação (%)
União Europeia	10,4
Tratado Norte-Americano de Livre Comércio (<i>North American Free Trade Agreement</i> – NAFTA)	8,7
Oriente Médio	3,5
Comunidade dos Estados Independentes (CEI)	3,2
Outros países europeus	2,7
América do Sul e Central	2,6
África	2,5
Oceania	0,5

Fonte: Elaboração própria com dados da WSA (2017).

No que tange à distribuição geográfica da produção de insumos básicos, a tendência mais importante foi a diminuição da importância relativa das nações desenvolvidas na geração do VTI setorial. Na metalurgia básica, esse valor regrediu de 76,4% em 2005 para 68,5% em 2010 e 64,7% em 2015. Uma trajetória similar se verificou para produtos de minerais não metálicos, com 79,8%, 75,0% e 68,3% respectivamente. De modo similar, celulose e papel registraram uma diminuição de 77,3% em 2005 para 69,5% em 2010 e 64,0% em 2015 (IEDI, 2017).

É claro que esse elevado nível de agregação acaba por esconder questões importantes quanto à localização das etapas da cadeia de valor. No caso do alumínio, por exemplo, as atividades de mineração de bauxita e de produção de alumina, alumínio primário e produtos transformados podem ser executadas em países distintos. Em 2015-2016, a Austrália dominou a produção de bauxita com 29,5% do total mundial, ocupou o segundo lugar na de alumina (17,2%) e sexto na de alumínio primário (2,8%). A China foi a segunda maior produtora de bauxita (23,4%), a primeira de alumina (50,5%) e de alumínio primário (55,4%), conforme ABAL (2017). Esse tipo de situação pode ocorrer em outros tipos de atividades mínero-metalúrgicas, pois tende a haver uma dissociação entre a produção de concentrado de zinco e a de zinco metálico, por exemplo.

Da mesma forma, os fatores de competitividade para as atividades de celulose e papel não são necessariamente convergentes. De acordo com IBÁ (2017), os cinco maiores produtores mundiais de celulose em 2016 foram Estados Unidos, Brasil, Canadá, China e Suécia. No mesmo ano, os líderes da produção de papel foram China, Estados

Unidos, Japão, Alemanha e Índia. Já na produção de cimento, as plantas tendem a apresentar relevada integração vertical, até mesmo por ser um produto de baixo valor agregado em relação ao custo logístico. Em 2016, por exemplo, a participação da China na capacidade mundial de clínquer foi de 54,1% e, na fabricação mundial de cimento, de 57,4% (USGS, 2017).

Na siderurgia, o atual polo dinâmico da indústria encontra-se na Ásia, com destaque para Índia e países-membros da Associação de Nações do Sudeste Asiático (Asean), em especial o Vietnã. Em 2016, a participação dos outros países asiáticos – à exceção da China – na produção siderúrgica global atingiu 19,5%. A participação chinesa passou de 15,1% em 2000 para 38,1% em 2008 e 49,6% em 2016. Os 28 países da União Europeia foram responsáveis por 9,9%, enquanto os países signatários do NAFTA detiveram uma fatia de 6,7%. A produção siderúrgica da América Sul e Central foi equivalente a 2,5% do volume mundial em 2016 (WSA, 2017).

Em 2016, de acordo com a WSA (2017), 74,3% da produção mundial de aço bruto foi proveniente de aciarias básicas a oxigênio, 25,3% de aciarias elétricas e 0,4% do processo Siemens-Martin, que é defasado tecnologicamente. Além disso, embora a exportação de semiacabados (placas, blocos e tarugos) seja muito importante para a pauta da siderurgia brasileira, as exportações mundiais desses produtos caíram de 58,7 milhões de toneladas em 2010 para 51,1 milhões em 2016 (WSA, 2017). Como resultado, sua relevância nas exportações siderúrgicas globais diminuiu de 15,7% para 11,3%. Não se constata tendência à fragmentação geográfica da produção no setor.

As estruturas industriais dos insumos básicos podem ser preponderantemente caracterizadas como oligopólios homogêneos. A principal barreira à entrada de novas concorrentes decorre de economias de escala, em que as incumbentes são tipicamente de grande porte², embora possa haver diferenças significativas em cada segmento. Na mineração de ferro, uma parcela expressiva dos investimentos é direcionada à logística (ferrovias, portos e, menos frequentemente, minerodutos). Outras substâncias podem requerer aportes apenas nas atividades mineradoras propriamente ditas. Alternativamente, a competitividade pode ser atrelada ao desenvolvimento da metalurgia.

Diante de consideráveis barreiras à entrada, relacionadas a uma elevada intensidade de capital, a estrutura de mercado da indústria siderúrgica é usualmente concentrada no âmbito de cada país, apesar de sua relativa fragmentação em nível mundial em comparação com fornecedores (por exemplo, mineradoras de ferro e carvão) e consumidores (automobilística).

É evidente que a menção ao tamanho das empresas líderes acaba por superestimar as dificuldades de ingresso no mercado, seja porque existem possibilidades de entrada em

2. Isso pode ser constatado no valor de capitalização de algumas empresas selecionadas em 31 de outubro de 2017. Na mineração, a Vale, com US\$ 53,4 bi. Na metalurgia, a Alcoa, com US\$ 8,8 bi. No setor de cimento, a LafargeHolcim, com US\$ 34,1 bi. Na produção de vidro, a Asahi Glass, com US\$ 9,5 bi. Na cerâmica, a China Ceramics, com US\$ 5,2 bilhões. Finalmente, na indústria de celulose, a International Paper, com US\$ 23,8 bi.

alguns nichos, seja em função da possibilidade de inserção como produtor local em vez de uma atuação globalizada. Ademais, considerando que os insumos básicos podem ser compreendidos como setores maduros do ponto de vista tecnológico, é razoável acreditar que o papel das incumbentes tenda a ser expressivo nesses mercados.

Embora as economias de escala sejam fatores críticos de sucesso na indústria siderúrgica, elas afetam de forma desigual as diferentes configurações produtivas. Sua influência é mais intensa em usinas integradas a coque que em usinas integradas a redução direta, e menos intensa nas usinas semi-integradas. Nesse sentido, é fundamental diferenciar a trajetória das economias de escala numa determinada rota tecnológica *versus* a intensidade das economias de escala entre as rotas. Até o momento, as inovações disruptivas examinadas nesse relatório não são suficientemente fortes para alterar de modo significativo as rotas tecnológicas predominantes na siderurgia mundial.

As usinas integradas a coque são um bom exemplo de como a trajetória tecnológica da indústria siderúrgica moveu-se no sentido da apropriação cada vez mais intensa das economias de escala. Deve-se ressaltar, no entanto, que tal trajetória mostra sinais de arrefecimento. Existem poucas usinas no mundo com capacidade anual superior a 16 milhões de toneladas. Além disso, a partir da década de 1960, a crescente difusão das usinas semi-integradas reduziu a escala mínima ótima de operação no setor.

Ainda que as barreiras à entrada tenham uma importância teórica e empírica maior do que as barreiras à saída, essas últimas são bastante relevantes na dinâmica competitiva da siderurgia mundial. Essas barreiras se devem a diversos fatores. Os equipamentos, que são dedicados, representam *sunk costs* substanciais. Os custos de fechamento de usinas siderúrgicas são elevados, considerando questões contratuais com fornecedores e consumidores, bem como o elevado contingente da mão-de-obra, as questões locais e ambientais. Além disso, a pressão governamental tende a ser intensa. Assim, a elevada ociosidade, combinada com consideráveis barreiras à saída num ambiente de tímido crescimento da demanda, acaba por estimular fusões e aquisições (F&A).

Usinas siderúrgicas possuem uma extensa vida útil e algumas empresas chegam a completar um século de operação. Talvez o exemplo mais conhecido seja da U.S. Steel, constituída em 1901. Na ocasião, era responsável por 67% da produção siderúrgica norte-americana e 29% da mundial (DE PAULA, 2001). Mesmo tendo perdido o papel de liderança do setor, em 2016 a empresa ainda constava como a 24ª maior siderúrgica do mundo (WSA, 2017).

A lista das 50 maiores companhias siderúrgicas do mundo em 2016, conforme WSA (2017), indica a existência de vários casos cujos ativos industriais são bastante longevos, tais como Nippon Steel Sumitomo (Japão), Tata Steel (Índia), Thyssen Krupp (Alemanha) e Companhia Siderúrgica Nacional (Brasil). Muitas vezes essa conexão não é tão evidente, porque o intenso processo de F&A acaba por encobrir tal situação. Por exemplo, a planta de Dudelange (Luxemburgo) remonta ao ano de 1900.

Em 1911, passou a fazer parte da Aciéries Réunies de Burbach-Eich-Dudelange (Arbed), que se fundiu com a Usinor e Aceralia, em 2002, dando origem à Arcelor. Em 2006, foi criada a Arcelor Mittal.

No outro lado do espectro, a relevância dos entrantes é ainda menor em nações nas quais a siderurgia já é uma atividade mais madura, como o Japão, os Estados Unidos e os países da Europa Ocidental. Nos Estados Unidos, contudo, verificam-se novos entrantes aproveitando o fato de ser um país com déficit comercial estrutural de produtos siderúrgicos. No cômputo geral, a siderurgia mundial é uma atividade na qual os incumbentes tendem a deter uma participação de mercado considerável, principalmente no segmento de laminados planos. As inovações disruptivas são úteis para diminuir o *ramp-up*. Todavia, parecem insuficientes para alterar significativamente as desvantagens dos entrantes frente aos incumbentes, ainda mais num contexto de excesso de capacidade instalada.

A tendência da indústria siderúrgica à contínua apropriação de economias de escala empresariais, ao alterar as condições de escala mínima ótima das empresas acaba se retroalimentando. Ou seja, F&A desencadeiam novas F&A – um processo que está longe de ser restrito à indústria siderúrgica ou aos insumos básicos de maneira mais geral. Alguns denominam essa trajetória de “efeito dominó”.

Uma metodologia convencional para se avaliar a intensidade desse processo é investigar o número de F&A e os valores financeiros envolvidos. O número de transações patrimoniais – inclusive aquisições, fusões, cisões e *joint ventures* – na siderurgia mundial aumentou de 107 em 2003 para 249 em 2007. Destaque-se que 2008 ainda apresentou um número elevado de transações (227), em grande medida porque a crise econômico-financeira teve seu impacto concentrado no último trimestre. Apesar da queda do número de F&A, foram contabilizadas em média 132 transações por ano no período 2009-2015 (PWC, 2016a). Não deixa de ser revelador o fato de que estaria ocorrendo uma transação na indústria a cada três dias.

Quanto ao montante financeiro, o incremento também foi significativo, pois os valores registrados cresceram de US\$ 6,9 bilhões em 2003 para US\$ 78,7 bilhões em 2006, regredindo para US\$ 60,9 bilhões em 2007, uma média de US\$ 8,9 bilhões no período 2009-2011 e de US\$ 6,4 bilhões entre 2013 e 2015. Para o período 2003-2015, na totalidade, o valor médio foi de US\$ 155 bilhões. Em termos prospectivos, não há indícios de que a consolidação deixará de ser uma tendência relevante para a siderurgia mundial ou mesmo para os demais insumos básicos. A própria fragilidade financeira de várias companhias siderúrgicas e a elevada ociosidade setorial na atualidade sugerem que o movimento de F&A pode, inclusive, se acelerar.

As companhias siderúrgicas frequentemente possuem baixo grau de diversificação produtiva. De fato, outras atividades são pouco relevantes no faturamento de tais companhias. O caso mais frequente de diversificação diz respeito às atividades minerais (minério de ferro, em particular), cuja intensidade depende muito, porém, de

fatores locacionais específicos. Siderúrgicas russas, brasileiras e indianas têm importantes ativos minerais (ferro, principalmente). Companhias japonesas e sul-coreanas preferem investir em várias participações minoritárias com mineradoras na Austrália e no Brasil, tanto em ferro quanto em carvão. Investimentos em outros minerais são menos frequentes, com exceção da sul-coreana Posco.

É pouco frequente que siderúrgicas sejam parte de conglomerados, mas esse é o caso atual da Tata Steel e da ThyssenKrupp. Essa, inclusive, está reduzindo a importância relativa da siderurgia nas vendas totais. Isso também já ocorreu com a siderúrgica alemã Mannesmann, cujo processo de diversificação foi tão intenso que a telefonia móvel se transformou na sua principal atividade, resultando na venda da própria divisão siderúrgica para a francesa Vallourec.

Assim, as principais estratégias competitivas da siderurgia contemplam a busca pela redução contínua de custos e o enobrecimento do *mix* de produtos. Isso, no entanto, é mais importante nos aços planos do que nos longos, e tal movimento é capitaneado mais por pressão dos consumidores do que por motivação própria das siderúrgicas. Considerando-as em conjunto com os demais setores de insumos básicos, é muito provável que a estratégia competitiva predominante seja a adoção recorrente de inovações incrementais, uma vez que vários produtos são *commodities* e as inovações radicais são pouco frequentes nestes setores.

1.2 Panorama no Brasil

De acordo com a Pesquisa Industrial Anual – Empresa (PIA-Empresa) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a participação conjunta no valor adicionado industrial dos insumos básicos retrocedeu de 20,10% em 2007 para 16,96% em 2015. Excluindo a siderurgia, essa relevância aumentou marginalmente de 14,20% para 14,29%.

A participação da extração de minerais metálicos no valor adicionado das empresas industriais com cinco ou mais pessoas ocupadas aumentou de 5,41% em 2007 para 10,03% em 2011, regressando para 5,38% em 2015, último ano com dados disponíveis. Os valores respectivos para a mineração de ferro foram 5,02%, 9,70% e 4,72%. Ainda segundo a PIA-Empresa (IBGE, 2017), a metalurgia mostrou uma tendência predominantemente negativa na participação do valor adicionado industrial, diminuindo de 9,17% em 2007 para 5,66% em 2015. A siderurgia, considerando a fabricação de tubos, regrediu de 5,90% para 2,67% no mesmo período. A metalurgia de não ferrosos permaneceu no nível de 2%.

Por outro lado, o setor de cimento ampliou sua fatia de 0,48% em 2007 para 0,71% em 2015, enquanto a fabricação de produtos cerâmicos também se expandiu de 0,79% para 1,0%. A produção de vidro registrou queda marginal de 0,58% para 0,51% no período considerado. O setor de papel e celulose se manteve no patamar de 3,7%, embora a participação da celulose tenha duplicado de 0,72% em 2007 para 1,40% em 2015.

No que concerne à importância relativa no número de pessoal ocupado, em 2015, nas empresas industriais com cinco ou mais pessoas, os valores foram os seguintes: a fabricação de produtos de minerais não metálicos apresentou 5,81%, sendo 2,1% para produtos cerâmicos, 1,99% para cimento e concreto e 0,58% para o vidro. A metalurgia, 2,76%, dos quais 1,42% são para a siderurgia. Celulose e papel, 2,4%, dos quais 0,29% correspondem à celulose. Já a extração de minerais metálicos ficou em 1,02%, sendo 0,84% para mineração de ferro conforme o IBGE (2017). Assim, os insumos básicos representaram 11,99% dos empregos industriais do país em 2015.

No que se refere às exportações brasileiras, em 2016 os valores contabilizados foram de US\$ 15,8 bilhões em minerais, US\$ 13,4 bilhões em metalurgia – dos quais US\$ 5,6 bilhões na siderurgia e US\$ 990 milhões no alumínio –, US\$ 7,5 bilhões em celulose e papel, sendo US\$ 5,6 bilhões em celulose, e US\$ 1,8 bilhão em produtos de minerais não metálicos. Conjuntamente, as exportações dos insumos básicos totalizaram US\$ 38,6 bilhões, o equivalente a 20,8% das vendas externas do país em 2016.

Em termos prospectivos, a situação depende muito da orientação comercial de cada setor. O cimento, que é voltado quase exclusivamente ao atendimento do mercado doméstico, vem enfrentando quedas sucessivas de vendas, com perspectiva de recuperação lenta. O último ano de alta no consumo doméstico foi 2014, com 71 milhões de toneladas. Para voltar aos mesmos níveis, serão necessários quatro ou cinco anos de crescimento, segundo estimativas do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) publicadas por Fontes (2017a).

Mineração de ferro e celulose são setores mais orientados para o mercado internacional, o que permite um desempenho mais desassociado da economia doméstica. Em 2016, a produção brasileira de celulose foi inclusive 8,1% superior a do ano anterior (IBÁ, 2017). E, em 2017, as exportações corresponderam a cerca de 70% da produção. No acumulado dos nove primeiros meses do ano, houve alta adicional de 2,7% da produção brasileira de celulose (FONTES, 2017b). Mais importante: constatou-se uma escalada de até 50% nos preços da celulose de eucalipto no mercado internacional desde o começo do ano (FONTES, 2017c).

A siderurgia é uma atividade bastante consolidada no Brasil, porém seu desempenho produtivo nos últimos anos tem sido insatisfatório. A produção brasileira de aço bruto se expandiu de 27,9 milhões de toneladas em 2000 para 33,7 milhões em 2008, resultando em TACC de 2,4%. Em 2016, tal produção regrediu para 31,3 milhões de toneladas (IABr, 2017a), implicando uma TACC de -0,9% para os anos 2008-2016. A queda da produção é ainda mais significativa quando se considera que novas usinas, inclusive duas de grande porte (Companhia Siderúrgica do Atlântico – CSA e Companhia Siderúrgica do Pecém – CSP), entraram em operação desde 2008. Como consequência, a participação brasileira no produto mundial retrocedeu de 3,3% em 2000 para 1,9% em 2016.

Enquanto o consumo no Brasil regrediu a um ritmo anual de 2,8% nos anos 2008-2016, a demanda mundial aumentou a uma taxa média de 2,7%. Assim, a participação brasileira no consumo global de produtos siderúrgicos diminuiu de 2,1% em 2000 para 1,2% em 2016. As receitas líquidas do setor atingiram US\$ 19,36 bilhões em 2016, contra US\$ 39,69 bilhões em 2011. Nesse período, a queda da produção foi de 11,2%, e a do preço médio do produto vendido (US\$/t), de 45,1%. No mesmo intervalo, o número total de trabalhadores em atividades siderúrgicas, inclusive de empresas terceirizadas, diminuiu de 132 mil para 100 mil pessoas (IABr, 2017a).

Em 2000, o NUCI da siderurgia brasileira era elevado, da ordem de 93%. Mais importante, o NUCI da indústria brasileira do aço alcançou 97% em 2004, o que configurava praticamente a operação a plena carga, traduzindo-se em um considerável incentivo aos investimentos com vistas à ampliação da capacidade. No período 2005-2007, a ociosidade média foi de 15%, exatamente em consonância com a experiência internacional. Como resultado da crise econômico-financeira global, o NUCI na siderurgia brasileira diminuiu para 63% em 2009. Em função do repique do consumo doméstico em 2010, ele aumentou para 74% em 2010.

Desde então, a trajetória do NUCI apresentou uma retração contínua até atingir apenas 62% em 2016 – o que corresponde a uma queda de 19,2 pontos percentuais em comparação a 2008. Trata-se de uma retração muito mais pronunciada do que a verificada na siderurgia mundial, que foi 11,4 pontos percentuais. Não apenas a produção siderúrgica brasileira foi 7,2% menor em 2016 do que em 2008, como a capacidade instalada aumentou 21,4%. Isto evidentemente é um substancial fator de desestímulo aos investimentos no setor.

Quanto às expectativas de crescimento, o Credit Suisse (2017) projeta que a produção brasileira de aço bruto será equivalente a 31 milhões de toneladas em 2017 e a 33 milhões em 2020. A WSA (2017) apresenta estimativa muito similar, considerando que a produção brasileira de aço bruto atingirá 31,7 milhões de toneladas em 2017 e 33,7 milhões em 2020. De acordo com a última previsão da WSA, divulgada em outubro de 2017, o consumo brasileiro de produtos siderúrgicos aumentará 1,0% em 2017 e 7,0% em 2018 (WSA, 2017). Pelas estimativas da IABr, as vendas domésticas regressarão ao patamar de 2013 somente em 2028 (MELLO LOPES, 2017).

A siderurgia brasileira possui um amplo espectro de produção, de tal sorte que a única categoria de produto relevante não fabricada no país é a de trilhos. Destaca-se em 2016 a liderança da região Sudeste, tanto em termos de produção quanto de consumo aparente de produtos siderúrgicos, seguido pelo Nordeste no primeiro quesito e pelo Sul no segundo, conforme Tabela 3. A participação da região Nordeste na produção tende a aumentar, como reflexo do *ramp-up* da CSP, que entrou em operação em meados de 2016. Já a região Centro-Oeste se destaca pela ausência de usinas, contando com apenas uma relaminadora de laminados longos.

Tabela 3 – Participação das regiões brasileiras na produção e no consumo aparente de produtos siderúrgico, 2016

Região	Participação na produção (%)	Participação no consumo aparente (%)
Sudeste	92,2	61,0
Nordeste	4,5	10,9
Sul	2,1	21,6
Centro-Oeste	-	3,9
Norte	1,2	2,6

Fonte: Elaboração própria com dados da IABr (2017a).

Quanto aos produtos, 57,9% do consumo aparente em 2016 foi de laminados planos e, analogamente, 42,1% de laminados longos, aproximando-se de um perfil mais comum em países desenvolvidos.

Embora a construção civil seja o principal setor consumidor de produtos siderúrgicos no Brasil, com uma fatia de 38,1%, em 2016, essa importância relativa é inferior à média mundial (50%) e distante do padrão dos países emergentes, como a China (59%). Os fabricantes de bens de capital responderam por 21,6% da demanda brasileira em 2016, superando a indústria automotiva (com 19,6%) e de utilidades domésticas e comerciais (7,3%) (IABr, 2017b).

A estrutura brasileira é bem completa em termos de produção siderúrgica. No entanto, possui duas peculiaridades produtivas relevantes. Primeiro, o Brasil é o único país que utiliza altos-fornos a carvão vegetal com produção expressiva, sendo responsável por 99% da produção mundial de ferro-gusa à base de carvão vegetal em 2016, quando exportou 2,2 milhões de toneladas desse material.

Essa tecnologia perdeu gradualmente importância relativa desde 1709, quando Abraham Darby, na Inglaterra, utilizou coque no processo siderúrgico pela primeira vez. Fora do Brasil, apenas duas plantas possuem altos-fornos a carvão vegetal: Aceros Zapla (Argentina) e Acepar (Paraguai). Contudo, a primeira paralisou os altos-fornos em 2001. A Acepar, que interrompera suas atividades em novembro de 2013, foi adquirida pela Vetorial – um dos maiores produtores independentes de ferro-gusano Brasil – em fevereiro de 2014 e voltou a operar em julho do mesmo ano.

Em segundo lugar, o país tem uma elevada participação de semiacabados nas exportações de produtos siderúrgicos. Em 2015, eles representaram 65,3% das exportações siderúrgicas brasileiras em tonelagem, enquanto esse valor para o mundo foi de tão somente 11,3%. A participação brasileira nas exportações globais na cadeia minero-metalúrgica em 2015 foi equivalente a 24,2% no minério de ferro, 21,1% no ferro-gusa, 16,8% nos produtos

siderúrgicos semiacabados e 1,2% nos produtos laminados (DE PAULA, 2017). Ou seja, quanto mais a jusante, menor a relevância do país nas exportações mundiais – padrão reproduzido em alguns outros setores de insumos básicos³.

No caso da siderurgia a carvão, alguns produtores independentes de ferro-gusa (ou “guseiros”) utilizaram sua condição para verticalizar a jusante, passando a produzir aço e mesmo laminados longos. A Aços Cearense, importadora de produtos siderúrgicos planos, comprou altos-fornos em operação de um guseiro e, em um segundo momento, adicionou uma aciaria e uma laminação (Siderúrgica Norte Brasil – Sinobras). Já a Ciafal produzia ferro-gusa e era proprietária de uma relaminadora antes de verticalizar e passar a fabricar aço, completando a integração de seu processo produtivo.

Por sua vez, o guseiro Ferroeste resolveu verticalizar sua produção, já tendo inaugurado uma aciaria e estando em processo de implantação de uma laminação. Ou seja, três companhias se beneficiaram do fato de já produzirem ferro-gusa a carvão vegetal para ingressar no mercado de laminados longos. É razoável supor que essas três empresas, por já participarem da cadeia produtiva siderúrgica no país, tenderiam a apresentar menores desvantagens competitivas frente aos incumbentes se comparadas a um “entrante puro”.

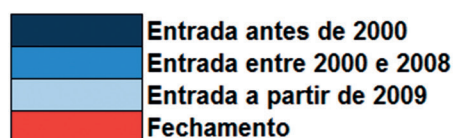
Quanto à construção de usinas integradas a coque produtoras de laminados planos, o volume de investimentos se reafirma como principal barreira à entrada de concorrentes. Todavia, no período 1991-1993, de privatização das grandes companhias siderúrgicas brasileiras, duas (Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST e Açominas) só fabricavam semiacabados. A CST verticalizou para os laminados planos em 2002, enquanto a Açominas passou a produzir laminados longos em 2002 e planos em 2013. Dessa forma, conseguiram avançar para um mercado de maior valor agregado investindo somente na laminação – o que correspondeu a uma fração do investimento necessário para uma usina completa.

O Quadro 1 mostra a especialização produtiva das companhias siderúrgicas no Brasil. Por exemplo, até 1999, a Gerdau atuava no mercado de laminados longos. Quando assumiu o controle majoritário da Açominas, em 2001, passou a atuar também de forma mais efetiva com semiacabados e ingressou na fabricação de laminados planos em 2013. No movimento contrário, a CSN, tradicional fabricante de planos, que produzira trilhos até 1996, voltou a operar no mercado de longos em 2014.

3. Por exemplo, em 2015-2016, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de bauxita, com 14,1% de participação, o terceiro maior fabricante global de alumina, com 9,0%, e o décimo produtor de alumínio primário com 1,4%(ABAL, 2017).

Quadro 1 – Entrada das siderúrgicas brasileiras nos segmentos de mercado

	Semi acabados	Planos Especiais	Planos Comuns	Longos Carbono Comuns	Longos Carbono Especiais	Longos Ligados Especiais	Tubos sem Costura
C.S. Atlântico (CSA)							
C.S. Pecém (CSP)							
Aço Verde Brasil							
Aperam							
Usiminas							
CSN							
ArcelorMittal							
Votorantim							
CBAço							
Sinobras							
Silat							
GV do Brasil/Simec							
Gerdau							
Cisam							
Villares Metals							
V&M do Brasil							



Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos segmentos de mercado, o Quadro 1 indica que as mudanças mais importantes ocorreram em laminados longos carbono comuns – exatamente o setor com menores barreiras à entrada. Em 2000, esse segmento era atendido por Gerdau, Belgo-Mineira (atual Arcelor Mittal Longos), Barra Mansa (atual Votorantim Siderurgia) e Companhia Brasileira do Aço. Essa última, localizada na cidade de São Paulo, encerrou suas atividades exatamente no ano 2000. Ela tinha uma capacidade instalada muito reduzida – apenas 80 mil toneladas de aço bruto – e, mesmo assim, operava com elevada ociosidade: seu recorde de produção foi 44 mil toneladas de aço bruto, em 1997.

Posteriormente, destaca-se a entrada dos seguintes empreendimentos: CISAM/Ciafal e Sinobras/Aços Cearense (em 2008), CSN (em 2014), Silat e GV do Brasil/Simec (em 2015). A usina Aço Verde Brasil (AVB/Ferroeste) já inaugurou sua aciaria, mas não a laminação de longos comuns.

Ao se comparar a experiência brasileira com o processo de consolidação da siderurgia mundial, pode-se afirmar que os determinantes, à exceção da diversificação geográfica mundial, são os mesmos: a) sinergias; b) reação ao processo de consolidação verificado tanto em setores fornecedores quanto em setores consumidores; e c) economias de escala e efeito dominó.

No caso brasileiro, para além das já mencionadas alterações patrimoniais associadas ao processo de privatização concluído em 1993, registraram-se cerca de 20 transações patrimoniais na siderurgia no período 1993-2002 (DE PAULA, 2002). O número de empresas independentes regrediu de 35 em 1985 para 13 em 2000 e sete em 2007, mas aumentou para 11 em 2016. Esse número subestima o efetivo de companhias que operam no mercado, pois exclui as não associadas ao IABr, como CISAM (pertencente à Ciafal), GV do Brasil (Simec), AVB (Ferroeste). Já a Silat não deveria ser considerada nesse contexto, pois ainda não fabrica aço bruto – condição necessária para a filiação ao IABr.

O intenso processo de consolidação verificado na década de 1990 acarretou em 1995 um patamar de 60% para o CR4 – indicador que mede a fatia de mercado das quatro maiores produtoras de aço do país. O grande incremento desse índice entre 2000 e 2006, quando saltou para 93%, decorreu de três grandes transações: a) a Usiminas assumiu o controle acionário da Cosipa em 2001; b) a Gerdau se tornou acionista majoritária da Açominas em 2001; c) a megafusão Arcelor Mittal aglutinou os ativos da CST, da Belgo-Mineira e da Acesita em 2006. Contudo, em função do *ramp-up* da CSA e do *spin-off* da Aperam com relação à Arcelor Mittal, o CR4 regrediu para 83% em 2011, alcançando 78% em 2016 em consequência da entrada em operação da CSP.

Seguindo a tendência mundial, as companhias siderúrgicas brasileiras frequentemente possuem baixo grau de diversificação produtiva. A principal exceção é a Votorantim Siderurgia, que pertence ao grupo diversificado de mesmo nome. Este grupo atua como produtor siderúrgico desde 1937, quando foi fundada a Siderúrgica Barra Mansa. Atualmente, encontra-se em processo de análise no Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE) o ato de concentração envolvendo a Arcelor Mittal Aços Longos e a Votorantim Siderurgia.

Outra exceção era a Thyssen Krupp, que em setembro de 2017 concretizou a venda da CSA para a Ternium. A Thyssen Krupp, que opera alguns negócios no Brasil (componentes, elevadores e soluções industriais), caracteriza-se por elevada diversificação produtiva em escala global. A Ternium, por sua vez, é controlada pelo grupo ítalo-argentino Techint, que, além de siderurgia, tem forte atuação em engenharia.

No entanto, a integração vertical é importante para as siderúrgicas brasileiras, em particular na mineração de ferro e, com menor intensidade, em ativos logísticos (ferrovias e portos) e florestais (para a produção de carvão vegetal). A maior intensidade do Brasil nos ativos de ferro em comparação com a média mundial é evidentemente explicada pela alta qualidade desse mineral no país e também pela proximidade entre as minas e as usinas siderúrgicas.

De maneira geral, as transações patrimoniais são muito frequentes nos insumos básicos, como mecanismo de apropriação de maiores economias de escala e racionalização produtiva. No caso dos setores examinados, os casos mais proeminentes parecem ser o

da Vale e o da Fibria. Na década passada, a Vale adquiriu vários concorrentes na mineração brasileira de ferro: Socoimex, Samitri/Samarco, Ferteco e Caem/MBR. Já a Fibria foi formada em 2009 a partir da fusão da Votorantim Celulose e Papel com a Aracruz.

No caso da mineração brasileira, é incontestável a liderança da Vale que, apesar de um processo de diversificação a partir de meados da década de 2000, continua muito dependente do minério de ferro.

De acordo com Macquarie (2017a), no período entre 2012 e 2016, 87% dos lucros operacionais da Vale foram gerados na divisão de minerais ferrosos, seguida pela de minerais base (inclusive níquel e cobre, com 13%), fertilizantes (3%), enquanto o carvão contribuiu negativamente com 3%. Na indústria de cimento, a maioria dos *players* é de empresas focadas na atividade, embora a Votorantim Cimentos, líder do mercado, seja uma subsidiária do grupo conglomerado homônimo.

No que se refere à indústria de celulose e papel, Montebello e Bacha (2013) apontam que as líderes brasileiras são verticalizadas da etapa de reflorestamento à fabricação de papel, ao passo que as de pequena escala de operação compram a celulose no mercado. As empresas integradas se apropriam das vantagens competitivas na produção de celulose, elaborada a partir da madeira de eucalipto e de pinus, que permitem o corte mais rápido do que as existentes nos países concorrentes.

No caso da Fibria, o Grupo Votorantim detém 29,4% das ações ordinárias. A Eldorado Brasil, controlada pelo grupo diversificado J&F Investimentos, está em processo de alienação do controle acionário para a Paper Excellence, com plantas produtivas no Canadá e na França. As outras companhias normalmente são focalizadas na indústria da celulose e papel.

As companhias siderúrgicas brasileiras também fazem uso das estratégias competitivas tradicionais de redução contínua de custos – por meio de adoção de inovações incrementais – e de enobrecimento do *mix* de produtos. Em relação a esse último, provavelmente o exemplo mais notório é o incremento da participação de chapas galvanizadas por imersão a quente (*hot-dip galvanizing* – HDG) na fabricação de laminados planos, que aumentou de 7,5% em 2000 para 19,0% em 2016.

Considerando os insumos básicos em sua totalidade, espera-se que a estratégia competitiva predominante seja a adoção recorrente de inovações incrementais, uma vez que vários produtos são *commodities* e as inovações radicais são pouco frequentes.



2 OS *CLUSTERS* TECNOLÓGICOS RELEVANTES

2.1 Identificação das tecnologias relevantes

Seja na literatura internacional consultada, seja na percepção das siderúrgicas brasileiras, não se vislumbram impactos significativos dos *Clusters* Tecnológicos sobre os modelos de negócios predominantes na siderurgia mundial até 2027. A elevada intensidade de capital e o baixo nível de utilização da capacidade instalada do setor levam a um volume de investimento baixo nos próximos anos. Os *Clusters*, portanto, tendem a otimizar em vez de revolucionar a siderurgia. Mesmo a recente entrada em operação da siderúrgica Big River Steel nos Estados Unidos, que provavelmente representa o estado da arte tecnológico, não trouxe maiores implicações nesse âmbito.

O investimento nos referidos *Clusters*, porém, é uma ótima oportunidade para a siderurgia mundial, pois requer aportes relativamente pequenos e gera resultados a curto prazo. Especificamente, corresponde a uma boa combinação de baixos investimentos em capital (*capital expenditure* – Capex), rápido *ramp-up* e *paybacks* de curto prazo.

Atualmente, as siderúrgicas estão mais preocupadas em antever os desdobramentos produtivos da maior difusão dos *Clusters* Tecnológicos, enquanto os efeitos sobre modelos de negócios têm menor visibilidade. A única provável exceção é a maior possibilidade de desintermediação – o que tende a colocar em risco os distribuidores independentes de produtos siderúrgicos.

Mesmo admitindo que os custos de transação diminuam e as usinas consigam atender a um número maior de clientes, os *Clusters* Tecnológicos não afetam o tamanho dos fornos na aciaria – e, conseqüentemente, o lote produtivo mínimo. Assim, ainda que as siderúrgicas possam aumentar sua venda direta de produtos siderúrgicos, os distribuidores seguiriam sendo essenciais para atender aos pequenos consumidores, em particular os da construção civil.

A difusão dos *Clusters* Tecnológicos tende a melhorar a eficiência operacional e a produtividade das siderúrgicas, além de possibilitar *ramp-ups* mais curtos e uma gestão mais coordenada com fornecedores e consumidores. Porém, no contexto atual, tais oportunidades não devem se desenvolver de forma proprietária, mas sim disponibilizadas de forma disseminada para os concorrentes, a depender da disponibilidade financeira e da capacidade gerencial.

Pode-se prever, portanto, poucas rupturas até 2027 na siderurgia mundial como consequência da difusão dos *Clusters* Tecnológicos, que devem reforçar trajetórias tecnológicas tradicionais com melhoria contínua de processos e enobrecimento de produtos.

Isso se relaciona a um cenário de maturidade tecnológica da siderurgia mundial, como se percebe pela intensidade moderada de seus gastos em P&D. Na avaliação da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a metalurgia básica – na qual está inserida a siderurgia – é considerada uma indústria com intensidade média de P&D, e relativamente baixa em comparação à média da manufatura de países como Alemanha, Suécia, Coreia do Sul e Japão (SILVA & DE CARVALHO, 2016). Além disso, a intensidade de P&D na siderurgia varia consideravelmente entre países, tendo diminuído entre 1998 e 2007 e mudado de trajetória a partir de 2008.

Silva e de Carvalho (2016) estimam que, para as siderúrgicas listadas em bolsas de valores, a importância relativa dos investimentos em P&D em proporção aos ativos totais e ao Capex foram equivalentes a 0,7% e 20% em 2014. Eles ressaltaram que aproximadamente 75% da amostra de companhias siderúrgicas listadas em bolsas de valores não investem em P&D.

Por outro lado, um conjunto limitado de empresas pesquisa intensamente, como se pode ver na lista dos cinco maiores orçamentos de pesquisa da siderurgia mundial em 2014 (Tabela 4). A liderança das asiáticas é incontestável, enquanto a Arcelor Mittal, maior siderúrgica mundial, ocupa o oitavo lugar, com investimento de US\$ 259 milhões.

Tabela 4 – Maiores orçamentos de pesquisa da siderurgia mundial, 2014

Empresa	País de origem	Orçamento (em milhões de US\$)
Baoshan (atual China Baowu Group)	China	639
Nippon Steel	Japão	573
Posco	Coreia do Sul	502
Shanxi Taigang Stainless Steel	China	372
JFE Steel	Japão	296

Fonte: Elaboração própria com dados de Silva e de Carvalho (2016).

Em termos históricos, os esforços de P&D da siderurgia privilegiam o desenvolvimento de produtos mais nobres e a redução de custos por meio de melhorias incrementais nos processos produtivos. A atividade de patenteamento, em termos absolutos e relativos, é historicamente maior em aço galvanizado – um produto de maior valor agregado (SILVA & DE CARVALHO, 2016). Porém, a participação relativa das patentes desses produtos regrediu de 5% em 1970 para menos de 2% em 1983, voltando a crescer persistentemente até alcançar 12% em 2012. Os outros produtos siderúrgicos destacados pelos autores foram: bobinas laminadas a frio, aços ligados e perfis. No período 1970-2012, esses aços não superaram 2% da atividade patentária setorial mundial.

Silva e de Carvalho (2016) também discutem as patentes na siderurgia por quatro tipos de processos: produção de ferro primário, fabricação de aço propriamente dita, laminação e fabricação de produtos laminados. Concluem que existe uma alta correlação entre o número de patentes de cada processo ao longo do tempo, e em alguns casos sobreposição entre elas. Uma mesma patente, por exemplo, pode ser aplicada tanto à aciaria quanto à laminação. Mais importante, as patentes nas atividades a jusante (laminação e fabricação de produtos laminados) são recorrentemente maiores que nas demais etapas do processo produtivo. Nesse sentido, as maiores oportunidades em termos de apropriabilidade dizem respeito às inovações de produto.

As patentes relacionadas à economia de baixo carbono aumentaram de aproximadamente 0,6% em 1970 para quase 9% do total da siderurgia em 2008, regredindo para 5,5% em 2012. Quanto à distribuição geográfica, estão muito concentradas em países que contam com indústrias siderúrgicas consolidadas, empresas que competem nos segmentos mais nobres do mercado e frequentemente importantes fabricantes de equipamentos siderúrgicos. É o caso de Alemanha, Estados Unidos, Japão, Áustria, Austrália, França, Coreia do Sul, Itália, Reino Unido e Canadá (SILVA e DE CARVALHO, 2016).

A inovação na siderurgia, como em outros setores maduros, muitas vezes ocorre pela incorporação de mudanças oriundas de outras indústrias, como informática, mecânica e de bens de capital (FURTADO *et al.*, 2000). Esse tende a ser o caminho de disseminação das inovações disruptivas, predominantemente por meio de inovações de processo.

Quanto à distribuição do patenteamento entre corporações, a concentração também é muito alta (SILVA & DE CARVALHO, 2016). Dentre as 100 empresas que mais depositaram patentes relacionadas ao aço até 2012, nada menos que 90% eram companhias não siderúrgicas, que detinham 68% do estoque de patentes – ratificando a predominância da origem externa das inovações.

Dentre as dez empresas que mais depositam patentes relacionadas à siderurgia no mundo, apenas quatro são produtoras de aço, e das que mais investem em P&D: JFE Steel, Nippon Steel Sumitomo, Kobe Steel e Posco. Deve-se mencionar que Siemens e SMS Siemag, duas grandes produtoras alemãs de equipamentos siderúrgicos, também constavam das dez.

De acordo com Silva e de Carvalho (2016), as informações acerca da colaboração entre universidade e indústria siderúrgica são relativamente escassas. Mesmo assim, mencionam o esforço envolvendo a Associação de Exportadores Turcos de Aço com a Universidade de Karabuk e a Universidade Técnica de Istambul. Quanto à articulação com governos, os autores citam a Estratégia Nacional para Materiais Metálicos, que corresponde a uma agenda de inovação desenvolvida conjuntamente pela Associação Sueca de Produtores de Aço e a Agência Sueca de Inovação.

2.2 Experiência internacional

A chamada 4ª Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, é o tema tecnológico do momento na siderurgia mundial, junto com o paradigma da economia de baixo carbono. As maiores contribuições às possibilidades dos *Clusters* Tecnológicos discutidos nesse relatório foram formuladas por Harald Peters, que coordena o grupo de trabalho Indústria 4.0 do Stahlinstitut VDEh (Instituto Alemão do Aço), composto desde 2014 por representantes de oito siderúrgicas, do próprio Stahlinstitut VDEh e de seu Instituto de Pesquisa Aplicada.

Peters (2017) comenta inicialmente que a digitalização é uma pré-condição para a Indústria 4.0, mas essa é muito mais abrangente, constituindo-se mais em um paradigma ou filosofia do que apenas uma tecnologia. Na visão do autor, são sete as principais implicações da Indústria 4.0 para a indústria siderúrgica:

- Planta única como um sistema de produção ciberfísico (*cyberphysical production systems* – CPPS).
- 100% de rastreabilidade dos produtos intermediários e finais.
- Produto inteligente com conhecimento de sua própria qualidade e história de produção (um aspecto da engenharia de ponta-a-ponta).
- Redes intensivas e comunicação de todas as plantas (“integração horizontal” dentro da empresa).
- Comunicação intensiva ao longo da cadeia completa de abastecimento (“integração horizontal” externa à empresa).
- Manipulação e uso adequados de todos os dados.
- Descentralização (auto-organização) em vez de soluções centralizadas.

Além disso, Peters (2017) indica que a indústria siderúrgica, além das tecnologias disruptivas, também precisa de soluções para vários pequenos problemas e tarefas, como a manipulação de informações básicas relativas à produção de aço e de laminados. O sistema ciberfísico, a integração horizontal e vertical e a engenharia de ponta-a-ponta são apenas técnicas que possibilitam a digitalização. A necessidade das siderúrgicas estaria no desenvolvimento de aplicativos adequados que lhes permitam funcionar como fábricas digitalizadas – pré-requisito para alcançar os benefícios da “Indústria 4.0/fábrica inteligente”.

Ainda segundo Peters (2016,2017), os maiores impactos da Indústria 4.0 sobre a siderurgia mundial se referem mais à otimização do que à disrupção propriamente dita, e incluem as seguintes vantagens:

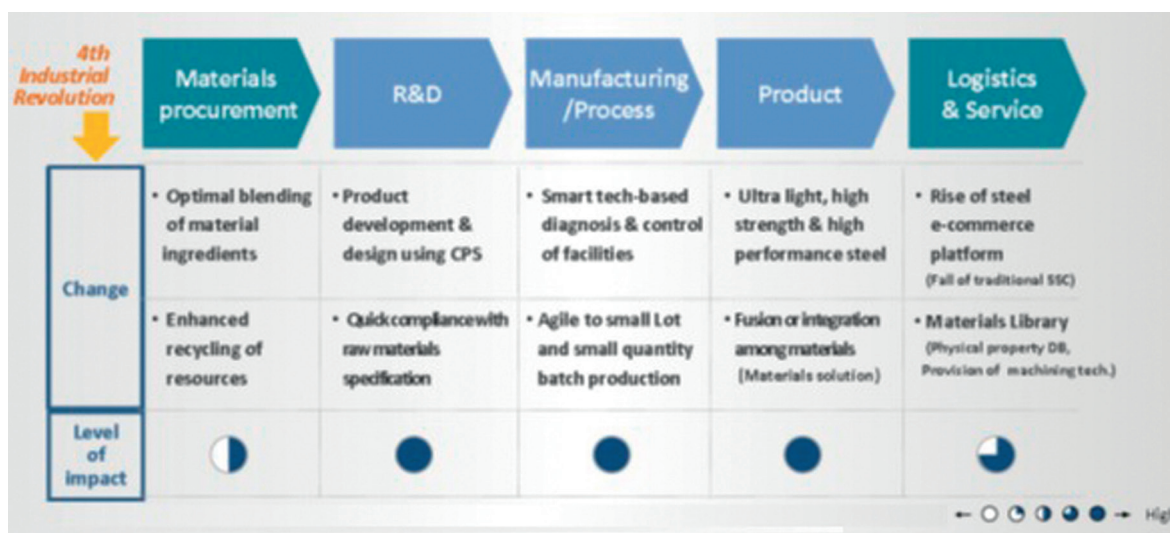
- Apoio à decisão em relação ao controle de qualidade.
- Controle inteligente da cadeia de processos (automação de processo contínuo).
- Avaliação inteligente de grande quantidade de dados (inclusive com melhor controle de defeitos de superfície).
- Reagendamento de materiais.

- Sistemas de assistência inteligente (por exemplo, *drones*).
- Manutenção inteligente (preditiva).

O Instituto de Pesquisa Posco analisou quatro megatendências em curso – motorização, globalização, industrialização e urbanização – e duas megatendências emergentes – ação climática global e 4ª Revolução Industrial. A pesquisa avaliou seus impactos em termos de demanda de aço em setores selecionados – indústria automotiva, construção, indústria naval e energia –, de processos siderúrgicos e dos tipos de produtos siderúrgicos fabricados até 2035. No que tange à 4ª Revolução Industrial, foram examinadas as seguintes tecnologias: robótica, IoT, IA, *big data* e impressão 3D (CHOI, 2017).

De acordo com a análise, os efeitos serão: a) muito elevados nas atividades de P&D e manufatura/processo e processo; b) altos em logística e serviços; e c) medianos em insumos. No caso da P&D, o desenvolvimento de produtos será baseado no conceito de sistema ciberfísico. Quanto aos processos, o diagnóstico e controle das plantas será fundamentado em tecnologias inteligentes. No que concerne aos produtos, além da comercialização de bens mais resistentes e leves, vislumbram-se a fusão e a integração entre materiais. Essa última possibilidade, embora não seja examinada mais detidamente, tenderia a ter um impacto transformacional maior para os modelos de negócios. A Figura 1 ilustra esses impactos.

Figura 1 – Impactos da 4ª Revolução Industrial sobre a siderurgia mundial segundo o Instituto de Pesquisas Posco



Fonte: CHO (2017).

O Instituto Posco exemplificou, com quatro experiências próprias, os desdobramentos do uso dos *Clusters Tecnológicos*. Após dois meses de teste, desde janeiro de 2017, a empresa vem combinando IA e *big data* na linha de galvanização contínua da usina

de Gwangyang, com o apoio do Departamento de Engenharia de Gerenciamento de Sistemas da Universidade de Sungkyunkwan (KINCH, 2017).

Os principais benefícios foram decorrentes da melhoria da qualidade das chapas, pois o desvio do peso do revestimento de zinco foi reduzido de 7 g/m² na operação manual para 0,5 g/m² com o novo sistema (KINCH, 2017; CHO, 2017). Como consequência, a empresa conseguiu reduzir os custos associados ao consumo de zinco, que é um insumo indispensável ao processo de galvanização. Um segundo exemplo foi a automação do controle do altoforno por meio de *deep learning*, que resultou em uma diminuição de 18% no desvio da temperatura. Como terceira iniciativa, no laminador de chapas grossas, o controle de precisão de deformação durante o processo de têmpera por meio de *big data* possibilitou a eliminação de metade do tempo de análise dos engenheiros. A quarta experiência refere-se ao uso de sensores que medem a concentração de gás no forno de reaquecimento do laminador de tiras a quente, diminuindo a necessidade de combustível em 5% (CHO, 2017).

Os quatro exemplos ressaltam a redução do custo e a melhoria da qualidade de conformidade dos processos. Tendem, assim, a proporcionar bons retornos financeiros, pois o volume de investimento é relativamente baixo para os padrões da indústria, e um período breve para obter resultados. Evidências de outras empresas, citadas nas subseções seguintes, reforçam tais características.

Provavelmente, os aspectos mais interessantes da visão do Instituto Posco se relacionam aos impactos das transformações nos setores consumidores. Estima-se, por exemplo, que o peso médio do automóvel se reduzirá de 1,546 tonelada em 2015 para 1,391 tonelada em 2025 e 1,252 tonelada em 2035. Nesse mesmo período, a participação do aço nesse peso diminuirá de 54% para 51%, e finalmente 49%. Em compensação, a importância relativa dos aços de média e alta resistência se ampliará de 18% em 2015 para 23% em 2025 e 29% em 2035 (PARK, 2017). Ratifica-se, assim, a trajetória tradicional de enobrecimento do *mix* de produtos na siderurgia.

Cho e Kong (2017) concluíram que a intensidade do consumo do aço na indústria automotiva se reduzirá em 20% entre 2015 e 2035, contra 16% na construção, 10% na indústria naval e apenas 1% na indústria de energia, capitaneada pelo petróleo. Assumindo tais mudanças na intensidade do aço em alguns dos principais setores consumidores, o Instituto Posco estima que a demanda mundial de produtos siderúrgicos em 2035 totalizará 1,857 bilhão de toneladas. Esse valor é ligeiramente inferior à previsão da WSA, de 1,869 bilhão de toneladas. Portanto, as megatendências tendem a atenuar a taxa de crescimento da demanda siderúrgica, reforçando uma tendência de crescimento lento, praticamente vegetativo.

Cho (2017) indica que a participação da construção na demanda siderúrgica global aumentará de 47,4% em 2015 para 49,5% em 2035. No mesmo período, a relevância da indústria automotiva diminuirá de 13,0% para 11,2%. Outros setores apresentam

números mais modestos, como energia (de 6,9% a 5,3%), construção naval (4,8% a 6,1%) e outros (28,0% a 27,8%). Mais uma vez, não são abordadas implicações das megatendências para a estrutura de mercado e os modelos de negócios.

Oppelt (2017) discute as perspectivas do consumo mundial de aço até 2035 mediante três cenários e com base em seis ramos demandantes de aço: construção comercial, construção residencial, infraestrutura, automotiva, máquinas e equipamentos, bens duráveis e de consumo. O primeiro cenário, denominado desenvolvimento econômico histórico, pode ser compreendido como a manutenção do *status quo*. Baseia-se num modelo econométrico que contempla o nível de renda *per capita*, a importância da indústria de transformação na economia, o volume de investimentos em ativos fixos, a taxa de crescimento da população e a taxa de urbanização. O segundo cenário, intitulado fatores de redução da intensidade de consumo do aço, leva em consideração a substituição de material – perda de mercado para sucedâneos –, a melhoria de qualidade dos materiais e a alteração no *design*. O terceiro cenário, batizado de disruptivo, incorpora quatro mudanças estruturais: a) a aplicação de tecnologias digitais na cadeia siderúrgica e nos provedores de outros materiais; b) a diminuição da demanda nos setores consumidores de aço; c) o incremento da vida útil; d) a alteração na intensidade do aço.

Oppelt (2017) exemplifica as alterações estruturais do cenário disruptivo, no caso da indústria automotiva. Primeiro, o compartilhamento, o transporte como serviço e a preferência dos consumidores diminuirão a intensidade do veículo *per capita*, resultando na queda de demanda por aço. Segundo, os componentes estruturais e exteriores de veículos tornados mais duradouros ou reutilizáveis como resultado de melhorias em *design* e materiais reduzirão a demanda anual por novos veículos, caracterizando o incremento da vida útil. Terceiro, a diminuição do peso do automóvel e o impacto dos substitutos acarretarão a queda do consumo.

Já no cenário-base da Accenture, a demanda global de produtos siderúrgicos crescerá de 1,5 bilhão de toneladas em 2015 para 2,0 bilhões em 2035, perfazendo uma TACC de 1,4%. No que se refere ao cenário intermediário, também denominado incremental, o consumo mundial de produtos siderúrgicos atingirá 1,873 bilhão de toneladas em 2035, resultando numa TACC de 1,1% – em consonância com a previsão da WSA e do Instituto Posco. No terceiro cenário, também intitulado radical, que incorpora as consequências da digitalização, a demanda global de aço crescerá cerca de 0,4% ao ano para atingir 1,749 bilhão de toneladas em 2035 – 12,5% abaixo da previsão inicial de 2,0 bilhões de toneladas. Ou seja, mesmo nesse contexto extremo, os efeitos da Indústria 4.0 tendem a atenuar as taxas de crescimento da indústria mundial, sendo insuficientes para reduzir o volume agregado. Cabe mencionar, no entanto, que no último cenário se constataria a diminuição do consumo *per capita* de 235 para 229 quilogramas de produto siderúrgico por habitante no período 2015-2035.

Ainda que a experiência da Big River Steel seja muito recente e os impactos não possam ser creditados exclusivamente aos *Clusters* Tecnológicos analisados, cabe sublinhar seu caso como exemplo da influência dos *Clusters* sobre o incremento da produtividade e o encurtamento do *ramp-up* – ainda que a literatura consultada não aborde eventuais impactos sobre seus modelos de negócios.

A siderúrgica é um projeto de US\$ 1,6 bilhão que começou a operar comercialmente no início de 2017. Trata-se de uma *mini-mill* com capacidade nominal de 1,5 milhão de toneladas de aço, contando com aciaria elétrica, laminação a quente, laminação a frio e galvanização. A empresa afirma ser a única usina nos Estados Unidos a contar com desgaseificação Ruhrstahl Heraeus (RH) – um equipamento que permite a produção de aços com teores ultrabaixos de carbono – associada a uma aciaria elétrica voltada à produção de placas. A usina é capaz de fabricar aços de alta resistência e baixa liga (*high-strength low-alloy* – HSLA) e chapas elétricas de grão não orientado (STICKLER, 2017; BLYTH e LANDAU, 2017), configurando um *mix* de produção sofisticado.

Por ser um projeto *greenfield*, a usina já pôde ser projetada de modo a aproveitar as oportunidades abertas pela emergência das novas tecnologias. Anunciada em 2013 e com a construção iniciada em julho de 2014, a empresa julga ser a primeira usina siderúrgica no mundo a utilizar intensamente o autoaprendizado. Ela contratou a Noodle.ai, uma *startup* do Vale do Silício, para fornecer serviços de supercomputação em Nuvem visando a otimizar o planejamento de manutenção e de produção, as operações de logística e a proteção ambiental (KINCH, 2017). A companhia possui mais de 50 mil sensores e dispositivos de coleta de dados instalados, permitindo avançar muito além do conceito de manutenção preditiva (NOLDIN JR., 2017).

A Big River Steel utiliza fortemente a automação em toda sua usina, possibilitando uma produtividade alta e um elevado rendimento de processos. Com apenas 435 funcionários, sua produtividade perfaz quase quatro mil toneladas anuais de aço por empregado. Talvez a empresa que mais se aproxime dela em termos de estrutura produtiva seja a também norte-americana Nucor Steel, que produziu 22 milhões de toneladas de aço bruto em 2016 com 23.900 empregados. A Big River Steel obteve um *ramp-up* muito rápido, atingindo 80% de sua capacidade instalada no quarto mês de operação (STICKLER, 2017; BLYTH e LANDAU, 2017). A rapidez na curva de aprendizado é digna de nota e pode ser atribuída parcialmente à maior difusão de inovações disruptivas.

Os benefícios ambientais não estão exclusivamente associados aos *Clusters* Tecnológicos. No entanto, a Big River Steel declara que seu consumo de água é 30% e o de energia, 18% inferior ao de usinas que fazem uso da mesma tecnologia de produção siderúrgica – o lingotamento de placas finas (*thin-slab-casting*) (BLYTH & LANDAU, 2017). Para além das questões produtivas, a companhia divulga que realiza leilões *online* para comprar sucata e vender produtos siderúrgicos (STICKLER, 2017), mas não apresentou mais evidências sobre a proporção de tais operações no *cômputo* geral.

Uma pesquisa da Pricewaterhouse Coopers (PWC, 2016a) junto a mais de duas mil empresas mostrou que 31% das metalúrgicas declaram já ter atingido um nível avançado de digitalização, enquanto 62% esperam alcançar esse patamar em 2020. Para a amostra como um todo, os valores foram de 33% e 72%, sugerindo que as metalúrgicas estão alinhadas com a média da indústria, mas tendem a caminhar mais lentamente. Planejam investir o equivalente a 4% de suas receitas anuais em soluções digitais no período 2016-2020 – nível ligeiramente inferior ao da amostra da totalidade da indústria (5%). Apenas 11% das empresas de metais possuem capacitação avançada relativa a *data analytics*, contra 18% da amostra completa.

A mesma pesquisa indica que as companhias metalúrgicas planejam reduzir seus custos em 3,2% ao ano, contra 3,6% da amostra total. No que concerne à ampliação de receita, os números foram de 2,7% e 2,9% ao ano. Ratifica-se não apenas um menor esforço relativo, mas uma expectativa de resultados mais modestos. Ainda assim, a maioria (58%) das metalúrgicas espera um retorno em tecnologias associadas à Indústria 4.0 em menos de dois anos. Outros 37% planejam um retorno em dois a cinco anos, e somente 5% estimam que ultrapasse cinco anos. Os valores são bem similares aos da amostra como um todo, com 55%, 37% e 8%, respectivamente (PWC, 2016b).

Um estudo recente (KINCH, 2017) ratifica e acrescenta às expectativas de impactos de *Clusters Tecnológicos* associados à digitalização sobre a siderurgia mundial. A já mencionada lentidão relativa ao excesso de capacidade instalada e aos preços baixos é complementada pelas pressões governamentais e sindicais contra demissões. De todo modo, a melhoria das condições do mercado desde o final de 2016 multiplicou o número de siderúrgicas e distribuidores de aço que adotam IA.

O potencial da IA na siderurgia é especificado por Kinch (2017), que aponta seu emprego para gerenciar estoques, controlar o peso das bobinas de aço e estabelecer normas de qualidade para matérias-primas, como ferroligas. A alemã Klöckner, por exemplo, já utiliza IA para reduzir estoques, assegurando entregas *just-in-time* (sob demanda). Já a análise preditiva pode ser usada para prever requisitos e comportamento de clientes, possibilitando diminuir estoques em até 30%. De acordo com Rühl e Kirkland (2016), a intenção da Klöckner é que 50% de suas transações façam uso de uma plataforma proprietária de comercialização. A companhia reconhece que essa nova tecnologia tende a gerar maior transparência de preços – o que tem sido avaliado como um risco considerável por outros distribuidores.

Os algoritmos, por outro lado, podem processar dados acumulados para encontrar padrões e aprimorar o controle do processo de linha de produção e a qualidade do produto. Kinch (2017) observa por exemplo que, seis meses após a aplicação de um algoritmo voltado à redução de defeitos em produtos, as empresas já começam a observar resultados mensuráveis. Além de economia de custos por meio de maior eficiência, o uso da robótica pode melhorar a segurança do trabalho. Por exemplo, a amostragem de banhos de metal pode ser realizada por robôs (KINCH, 2017).

Outra aplicação da IA é a otimização do consumo de insumos. Cada corrida de aço possui sua própria composição química e seus requisitos de temperatura. Com modelos melhores, a siderúrgica pode combinar pedidos similares e analisar o aço ao longo do processo de produção por meio de testes contínuos. Isso evitaria a produção de placas fora dos requisitos de qualidade devido às restrições materiais e reduziria a geração interna de sucata, pois o sistema pode enviar alertas de não conformidade ou procurar em tempo real pedidos simultâneos para os quais esse aço seria aceitável (KINCH, 2017).

A siderúrgica russa Magnitogorsk (MMK), por exemplo, aplicou a IA para investigar mais de 200 mil corridas e identificar possibilidades de reduzir o consumo de ferroligas e materiais sem comprometer os padrões de qualidade em uma aciaria básica a oxigênio. O resultado diminuiu em média 5% do uso de ferroligas, com uma economia anual de US\$ 4,3 milhões. A mesma companhia acredita que o uso de modelos matemáticos, bem como o rápido desenvolvimento de tecnologias como IoT, reduzirão os custos do setor em 5% a 10% nos próximos três a cinco anos.

No entanto, a implantação de novas tecnologias possui evidentemente muitos riscos. Um problema sério decorre dos ataques cibernéticos. O caso provavelmente mais conhecido tornou-se público em dezembro de 2014, quando o Escritório Federal de Segurança da Informação da Alemanha (*Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik* – BSI) divulgou em seu relatório anual o ataque a uma siderúrgica. O documento apenas mencionou que o ataque causou danos maciços, sem especificar detalhes técnicos ou a localização da usina. Posteriormente, foi identificado que ele teria causado danos físicos por ter impedido o perfeito funcionamento do alto-forno. Reportagens apontaram que o alvo teria sido uma planta da Thyssen Krupp, mas a empresa negou.

Num segundo episódio, em 2016, a Thyssen Krupp reconheceu publicamente que segredos técnicos comerciais foram roubados de sua divisão siderúrgica. O problema, identificado em abril, foi divulgado apenas em dezembro (AUCHARD & KÄCKENHOFF, 2016). Mesmo adotando a postura de noticiar o ataque cibernético, a Thyssen Krupp se recusou a identificar locais específicos infectados ou especular sobre suspeitos prováveis. Declarou que também não poderia estimar a escala das perdas relativas à propriedade intelectual. O atraso na divulgação do problema foi atribuído à decisão de limpar antes todos os sistemas infectados e implementar novas salvaguardas de monitoramento dos sistemas de informática (PRIYANKA, 2016). Outros riscos serão comentados ao longo deste relatório.

Quanto aos principais obstáculos à digitalização na indústria metalúrgica, o relatório da PWC (2016a) mencionado anteriormente destaca:

- A falta de cultura e treinamento digitais (49%).
- A pouca clareza sobre o benefício econômico dos investimentos digitais (49%).

- A falta de uma visão clara sobre operações digitais e de apoio e liderança por parte da alta administração (39%).
- A incapacidade dos parceiros comerciais para fornecer soluções digitais adequadas (29%).
- Os volumes elevados de investimento (28%).
- A falta de talentos (23%).

Em relação à amostra total da indústria, a principal diferença foi a colocação da segurança e da privacidade dos bancos de dados na quinta posição, com 25% (PWC, 2016b).

2.3 Experiência das empresas brasileiras

Essa seção tem como base entrevistas realizadas com um grupo específico de empresas do setor, das quais seis siderúrgicas, duas da indústria de alumínio, duas de mineração, duas da indústria de celulose e uma da indústria de cimento. Embora o painel seja relativamente restrito, trata-se de um conjunto de companhias de grande porte com elevada compreensão das tendências mundiais e nacionais.

2.3.1 Difusão na siderurgia hoje

Na percepção das empresas brasileiras consultadas, a difusão da IoT na siderurgia mundial é baixa, com certo nível de instrumentação embarcada e de preocupação com a integração e a segurança das informações. A IoT permitiria a conexão de processos, pessoas, coisas e dados, capturando benefícios quantitativos como a redução do tempo de parada (*downtime*), a diminuição de defeitos, as melhorias da eficácia geral dos equipamentos (*overall equipment effectiveness* – OEE), o incremento da previsibilidade e da confiabilidade das operações e o aumento da exatidão dos inventários, entre outros.

Todavia, os padrões atualmente utilizados são muito pautados na necessidade de controle dos processos – e não na preparação de uma empresa analítica. Também começam a se difundir soluções relacionadas ao sensoriamento inteligente (*smart sensing*) e sensores de baixo custo e fácil integração, que podem agregar grande valor à indústria e permitir um nível de sensoriamento mais intenso em toda a cadeia produtiva.

Os principais obstáculos à sua difusão na indústria siderúrgica são os sistemas legados complexos e as redes em silos, por exemplo. Outros desafios, como tempo de bateria para soluções autônomas, infraestrutura de rede, aspectos legais e normativos e segurança da informação, já estão sendo administrados.

Apesar dessas limitações, as empresas esperam que o engajamento das companhias siderúrgicas na IoT aumente rapidamente. Além disso, o incremento exponencial e a criticidade da informação a ser transportada, resultantes da IoT e da digitalização ubíqua

em geral, trazem novos requisitos para as redes de comunicação. Esses requisitos se referem não apenas à amplitude, à velocidade e à cobertura de banda, mas também à segurança, cibernética e de integridade física, dos sistemas de equipamentos de rede.

Para as empresas consultadas, a difusão atual das Tecnologias de Redes de Comunicação na siderurgia mundial é moderada. De fato, por um lado, a aplicação de redes de dados mais seguras, robustas e resilientes já é encontrada amplamente na siderurgia mundial. Como as tecnologias de comunicação de chão de fábrica estão a cada dia mais próximas das tecnologias de mercado, as empresas estão mostrando maior interesse no assunto. Por outro lado, redes máquina a máquina (*machine to machine-M2M*) estão aparecendo no mercado industrial, ainda que muito timidamente.

O desafio para as Redes e os protocolos é assegurar simultaneamente o desempenho e a segurança em ambientes com profusão de dispositivos conectados. No chão-de-fábrica, ainda se percebe uma segmentação das Redes em função de tecnologias prioritárias, patrocinadas por grandes empresas e institutos que buscam hegemonia. De fato, a existência de sistemas incompatíveis representa um importante desafio para muitas empresas. Entretanto, no ambiente corporativo, a Ethernet já se consolidou, tornando-se uma camada de convergência universal, seja em redes metálicas, óticas ou sem fio. Essa tecnologia atualmente carrega a promessa de desempenho, interoperabilidade, custo-efetividade e simplicidade.

Já a difusão atual das tecnologias de IA, *big data* e computação em nuvem na siderurgia mundial é baixa. Embora a IA já seja utilizada, não está articulada às outras duas. Na siderurgia, sua aplicação no controle de processos ocorre de forma destacada frente às demais. Mais ainda: a IA tem despertado muito interesse dessas empresas, enquanto *big data* e computação em nuvem ainda estão muito incipientes. Elas vislumbram grande potencial de difusão do *Cluster*, especialmente para lidar com análises de falhas e direção de processos operacionais, bem como com o planejamento de produção inteligente.

Essa crescente aplicação da IA na substituição de sistemas estocásticos e determinísticos, porém, não prescinde de maior conhecimento e especialização para sua massificação. As empresas entendem que as potencialidades da *big data* e da computação em nuvem são expressivas nos médio e longo prazos, mas seu desenvolvimento requer um longo caminho, devido à necessidade de abordagens específicas quanto à garantia do tratamento da informação em tempo real aplicada à otimização e ao controle do processo *online*, bem como à segurança cibernética.

A difusão da Produção Inteligente na siderurgia mundial também é considerada baixa pelas empresas. Entretanto, constataram-se maiores diferenças quanto à sua aplicabilidade, talvez pela amplitude do conceito. De um lado, a visão mais pessimista opina que “a Produção Inteligente e Conectada ainda não saiu da academia para a realidade industrial, porém notam-se os primeiros interesses neste pilar da Indústria 4.0”.

Por outro, para outra siderúrgica, seu uso teve um aumento expressivo nos últimos anos apesar da baixa difusão mundial, principalmente se consideramos o seu potencial. Finalmente, uma companhia destacou que “a aplicação da robótica no nosso setor, substituindo o homem em atividades operacionais básicas, já é uma realidade, e estamos vivenciando o experimento inicial da tecnologia de impressão 3D aplicada na otimização do processo de fabricação de peças, sobressalentes e produtos”.

Os compósitos ainda não ganharam uma participação de mercado relevante na indústria siderúrgica mundial. O desenvolvimento de novos materiais, como ligas e compostos intermetálicos, assim como materiais magnéticos nanoestruturados, pode trazer novas oportunidades na área industrial, mas carece de um maior investimento para possibilitar sua aplicação.

Com relação aos Materiais Avançados, o crescimento dos compósitos acaba acirrando a tendência de competição com sucedâneos na siderurgia. Assim, é possível cogitar três possíveis implicações: a) aquelas derivadas do maior uso de compósitos pela indústria siderúrgica; b) aquelas associadas à perda de mercado dos produtos siderúrgicos para os novos compósitos; c) aquelas decorrentes da melhoria do *mix* de produtos siderúrgicos como reação aos novos compósitos.

As siderúrgicas brasileiras avaliam que os esforços de desenvolvimento de novos materiais no mundo se restringem a algumas indústrias, como a de equipamentos médicos e eletroeletrônicos, a automotiva e a aeroespacial. As siderúrgicas mundiais, tradicionalmente acostumadas com a competição com sucedâneos – cimento e alumínio, para citar apenas os mais notórios –, concederam mais atenção aos esforços de modernização tecnológica para reagir aos novos materiais. A siderurgia trabalha para oferecer produtos competitivos relativamente a outros materiais – não ferrosos, polímeros e fibra de carbono, por exemplo. As atividades de P&D voltam-se para materiais ligados, processos especiais de conformação e têmpera, como o desenvolvimento de aços de ultra alta resistência mecânica.

Ainda em relação ao desenvolvimento de aços mais sofisticados, de acordo com as empresas brasileiras, os materiais nanoestruturados tiveram sua utilização ampliada na indústria mundial a partir do uso de elementos microligantes, como nióbio, titânio e vanádio, no final da década de 1960. Esse uso tem se ampliado e intensificado continuamente desde então, reforçando a trajetória tecnológica de desenvolvimento de aços de maior resistência. Assim, o desenvolvimento de diferentes materiais e ligas de aço já está bastante avançado, mas ainda há grande potencial em relação à combinação e à integração de aço com outros produtos, como os polímeros.

Na percepção das empresas consultadas, a difusão atual de materiais nanoestruturados na siderurgia mundial e em setores consumidores das siderúrgicas é baixa. Elas apontam que as pesquisas em Nanotecnologia priorizam as áreas médica e de energia.

O desenvolvimento de nanossensores e aplicações em remédios tende a gerar grandes impactos na área de saúde. Ademais, algumas tecnologias de energia renovável, principalmente com as células fotovoltaicas, tendem a gerar avanços importantes. Contudo, ainda se encontram em fase embrionária. Apenas uma siderúrgica declarou que usa a Nanotecnologia para aumentar a durabilidade de componentes e acessórios, reduzindo os riscos de falha e criando Materiais Avançados. Os maiores interesses e preocupações dizem respeito aos nanomateriais comparativamente a outros materiais nanoestruturados.

A difusão atual das novas tecnologias de Armazenamento de Energia na siderurgia mundial, por sua vez, também é baixa. Hoje, prioriza-se a eficiência da utilização de energia em detrimento da conservação para reuso. Na mesma direção, a indústria siderúrgica global busca a autossuficiência ou, minimamente, a cogeração de energia, em particular para as usinas integradas a coque. Por sua vez, as iniciativas já conhecidas de reutilização são relacionadas principalmente à energia térmica para cogeração.

As empresas brasileiras também mencionaram que a indústria siderúrgica mundial se beneficiaria de formas novas e mais eficientes de armazenar de energia, principalmente para as energias geradas por meio de coprodutos – que também são uma tecnologia emergente. Além da importância ambiental em termos de custos, essa oportunidade é de especial relevância em países com mercados de energia mais voláteis, com matrizes energéticas basicamente dependentes de combustíveis fósseis. As siderúrgicas destacaram que o desenvolvimento do Armazenamento de Energia em parques eólicos, solares e geotérmicos tende a gerar novos negócios no fornecimento de aço para a construção de estruturas.

2.3.2 Difusão na siderurgia em 2022

Para 2022, a expectativa de difusão da IoT na siderurgia mundial é moderada, mas indica que algumas barreiras não serão plenamente superadas. De um lado, a ideia do gêmeo digital estará mais difundida, a conectividade do produto às necessidades do cliente será mais clara, bem como as vantagens competitivas daí decorrentes. Fabricantes de equipamentos industriais começarão a fornecer sensores e atuadores conectados, inclusive com a possibilidade de gerar uma rede de controle entre eles, reforçando a interação com fornecedores e clientes.

Investimentos direcionados às medições de processos serão baseados no controle e na captação da informação para integração em grandes bases de dados compartilhadas, favorecendo que decisões sejam baseadas em dados confiáveis. Com isso, as companhias poderão atuar de forma preditiva e prescritiva em seus processos produtivos e de negócio.

Por outro lado, é provável que nem todos os problemas relacionados aos custos, à infraestrutura de rede, aos aspectos legais e normativos e à segurança da informação estejam solucionados. Além desses fatores, somem-se as imensas barreiras à inovação relacionadas com a mudança cultural no sentido de mudar a forma de operar, colocando em questão o *status quo* de condutas em um setor com considerável aversão ao risco tecnológico, como a siderurgia.

A difusão das redes na siderurgia mundial em 2022, por sua vez, será moderada/alta. A demanda intensa de redes de velocidade e disponibilidade altas, aderentes à necessidade de cada aplicação, será um forte requisito. As tecnologias sem fio, que hoje barateiam custos e aceleram a implantação, serão mais robustas e amplamente difundidas. Assim, a indústria siderúrgica se beneficiará de um melhor intercâmbio de informações com os clientes, o que também deve levar a um planejamento de produção mais flexível.

A difusão das tecnologias de IA, *big data* e computação em nuvem na siderurgia mundial em 2022 também deve ser moderada. Diante do acirramento da competição, as siderúrgicas brasileiras acreditam que as soluções e produtos serão cada vez mais personalizados, exigindo maior flexibilidade da infraestrutura (em nuvem) e modelos de inteligência de negócio (que também capturem *insights* externos).

O alto desempenho e a capacidade de processamento dos sistemas, além do acesso rápido às informações, impactarão de forma razoável a performance do negócio. A infraestrutura de nuvem instalada deve ser robusta e ágil para atender no modelo sob demanda. Uma capacidade de processamento ilimitada se tornará quase indispensável devido à necessidade de respostas em tempo real. Assim, IA, *big data* e computação em nuvem aumentarão sua difusão e sua importância, passando a influenciar a transformação de negócios e processos.

Com a evolução da integração dos dados e a estruturação das bases concentradoras de grandes volumes de informação no futuro, as siderúrgicas usufruirão de todas essas informações utilizando ferramentas analíticas avançadas, como *machine learning*, para direcionar os negócios. A estratégia da indústria será movida por soluções analíticas e, para tal, a segurança da informação será um requisito cada vez mais importante. Cada vez mais serão desenvolvidas soluções inteligentes e robotizadas.

O mesmo tipo de difusão deve ser visto nas tecnologias de Produção Inteligente na siderurgia mundial em 2022. A indústria siderúrgica certamente se envolverá, uma vez que a competitividade acirrará as pressões por redução de custos, otimização de processos e assertividade na entrega ao cliente final. A produção com visão integrada de toda a cadeia, desde os fornecedores de matéria-prima até os usuários finais, atenderá a essas pressões e acelerará o atendimento aos clientes sejam atendidos de forma mais rápida e com qualidade.

A robotização crescente, com sistemas autônomos conduzindo o processo, permitirá que a mão-de-obra seja substituída por frentes de serviços de risco, garantindo maior segurança e saúde. Outros benefícios decorrerão do melhor aproveitamento dos insumos – reduzindo os impactos ambientais – e de melhores práticas operacionais por meio de soluções preditivas e prescritivas – melhorando o aproveitamento dos equipamentos e reduzindo estoques. Em outras palavras, a indústria siderúrgica tende a se tornar mais limpa e enxuta.

Na percepção das companhias consultadas, em 2022: a) a difusão de novos materiais (compósitos) na siderurgia mundial será baixa; b) a difusão desses materiais em setores consumidores será moderada; e c) a trajetória natural do desenvolvimento tecnológico de melhores produtos siderúrgicos será reforçada.

O desenvolvimento de ligas e compostos intermetálicos, assim como o de materiais magnéticos nanoestruturados estáveis e de baixo custo, muito provavelmente contribuirá com a siderurgia no futuro. Os Materiais Avançados podem potencializar o uso do aço integrado a outros materiais ou mesmo a melhoria contínua da aplicabilidade e das propriedades mecânicas. Também podem significar uma pressão adicional para a melhoria dos produtos siderúrgicos.

A difusão das tecnologias de Armazenamento de Energia na siderurgia mundial em 2022 também continuará baixa. A tendência é que se disponibilizem mais novas tecnologias de armazenamento e de geração com custo reduzido, equipamentos mais eficientes e com sistemas de autogeração. Todavia, a atual redução significativa do custo de armazenamento não levará necessariamente à sua utilização em indústrias eletrointensivas como a siderurgia semi-integrada. Nesses setores, existe uma forte tendência à utilização da “resposta da demanda”, aproveitando energia quando ela é abundante e, analogamente, diminuindo a produção quando a oferta é mais escassa.

Por outro lado, o incremento da instalação de parques eólicos em regiões com condições hostis, como em alto-mar, demandará estruturas metálicas apropriadas a tais condições, proporcionando oportunidades de negócios para aços mais sofisticados.

2.3.3 Difusão na siderurgia em 2027

Para 2027, na percepção das empresas consultadas, a difusão da IoT na siderurgia mundial será alta. Acredita-se que, impulsionada pela redução de custos e pelo desempenho das redes, essa tecnologia prosseguirá em crescimento vertiginoso, e as empresas que não aderirem à tendência de plena conectividade e troca de informação sofrerão com o ambiente competitivo e possivelmente não suportarão as pressões de novos produtos conectados.

O mesmo deve ocorrer para as redes, sendo a velocidade e a segurança delas os fatores críticos de sucesso para a construção de indústrias inteligentes e, conseqüentemente, mais competitivas. Esse tipo de tecnologia será barata e amplamente disponível, de tal forma que a empresa que não a aplicar estará extremamente atrasada. Um cenário potencial será o de total dependência de redes de alta disponibilidade, com tolerância zero para falhas.

Já a difusão das tecnologias de IA, *big data* e computação em nuvem na siderurgia mundial em 2027 deve ser moderada. Embora a agilidade nas tomadas de decisão continue essencial para a “empresa 4.0”, essas tecnologias tendem a ser aplicadas prioritariamente pelos maiores *players* do mercado – uma seletividade que as diferenciam dos dois *Clusters* anteriores.

Também para a Produção Inteligente e os novos materiais, a difusão deve ser moderada. De um lado, a indústria conectada e inteligente terá avanços em muitos setores e tais tecnologias serão viabilizadoras, como ocorre na convergência de produtos em serviços e soluções. De outro, esse *Cluster* Tecnológico não será disseminado por todos os setores e por várias aplicações, mas contará com algum grau de seletividade – o que justifica a difusão moderada.

Com relação aos novos materiais, a trajetória natural do desenvolvimento tecnológico de melhores produtos siderúrgicos será reforçada. No avanço da utilização da manufatura aditiva, serão desenvolvidos novos materiais que dinamizarão esse crescimento, em consonância com a trajetória tecnológica da siderúrgica.

Com relação à difusão de materiais nanoestruturados na siderurgia mundial e entre os consumidores, as empresas consultadas esperam que seja baixa/moderada em 2027. As pesquisas passarão a abranger a maioria das indústrias, mas apenas alguns setores apresentarão ao mercado produtos consolidados. Especificamente para o setor siderúrgico, haverá uma melhor interação entre academia e indústria, essa tecnologia estará mais consolidada e os investimentos em P&D serão mais intensos, com vistas à transformação produtiva da indústria.

Já as tecnologias de Armazenamento de Energia na siderurgia mundial devem ter difusão moderada em 2027, uma vez que o custo do armazenamento de energia está caindo significativamente. Combinada à gestão ativa de demanda, essas tecnologias criarão um novo mercado de compra e venda. O *grid* energético se modificará substancialmente como reflexo dos vultosos investimentos já realizados. Os novos modelos de negócio demandarão o fornecimento de insumos diferenciados pela indústria siderúrgica.

O Quadro 2 sistematiza a percepção predominante acerca da difusão dos *Clusters* Tecnológicos na indústria siderúrgica global em três momentos: atualmente, em 2022 e em 2027. Embora haja certa convergência entre o grau de difusão e a intensidade do impacto, essa associação não é completa (Quadro 3).

Quadro 2 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão das tecnologias disruptivas na siderurgia mundial, 2017, 2022 e 2027

Tecnologia	2017	2022	2027
Internet das Coisas	Baixa	Moderada	Alta
Redes de comunicação rápidas e seguras	Moderada	Moderada/alta	Alta
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Baixa	Moderada	Moderada
Produção Inteligente e Conectada	Baixa	Moderada	Moderada
Materiais Avançados na siderurgia	Baixa	Baixa	Moderada
Materiais Avançados nos consumidores	Baixa	Moderada	Moderada
Materiais Nanoestruturados	Baixa	Baixa	Baixa/moderada
Armazenamento de Energia	Baixa	Baixa	Moderada

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão e intensidade do impacto das tecnologias disruptivas na siderurgia mundial, 2027

Tecnologia	Difusão	Impacto
Internet das Coisas	Alta	Alto
Redes de comunicação rápidas e seguras	Alta	Alto
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Moderada	Alto
Produção Inteligente e Conectada	Moderada	Alto
Materiais Avançados na siderurgia	Moderada	Moderado
Materiais Avançados nos consumidores	Moderada	Moderado
Materiais nanoestruturados	Baixa/moderada	Baixo
Armazenamento de energia	Moderada	Baixo

Fonte: Elaboração própria.

A visão preponderante indica que as algumas tecnologias disruptivas sejam complementares, de forma que a difusão de uma acaba facilitando e estimulando uma utilização maior das demais. Em relação aos sete *Clusters* analisados, foram observadas três situações distintas no que tange à indústria siderúrgica global.

Primeiro, há muita convergência entre IoT, Redes, IA, *big data* e computação em nuvem, e Produção Inteligente, sendo a última compreendida como a mais abrangente e agregadora das demais. Segundo, os Materiais Avançados possuem uma dinâmica própria e seus impactos são diferentes dos *Clusters* já mencionados, pois implicam

competição com sucedâneos e a trajetória tecnológica de produção de aços mais sofisticados. Em outras palavras, o desenvolvimento de Materiais Avançados pode potencializar o uso do aço do mundo, assim como substituí-lo em diversas aplicações. Terceiro, materiais nanoestruturados e Armazenamento de Energia são e continuarão a ser menos relevantes para a siderurgia mundial.

2.3.4 Difusão nas demais indústrias do setor

Foram consultadas empresas das indústrias de alumínio e cimento, mineração e celulose – também parte do sistema de insumos básicos. Inicialmente, para os setores de alumínio e cimento, a percepção predominante sugere que a difusão mundial atual da IoT é baixa. Embora se constate um debate global cada vez maior sobre o tema, a adoção ainda é restrita, principalmente na cadeia da construção civil. Espera-se que se torne relevante ao longo dos próximos anos, integrando veículos, por exemplo.

A difusão atual das redes rápidas e seguras também é limitada em alumínio e cimento. Uma das companhias mencionou que ainda existem muitas limitações na rede de comunicações rápidas e seguras em alguns países, o que limita seu desenvolvimento. Outra discutiu a grande preocupação das empresas com riscos cibernéticos, considerando esse *Cluster Tecnológico* ainda frágil.

Para essas mesmas indústrias, a difusão das tecnologias IA, *big data* e computação em nuvem é baixa/moderada. Uma empresa destacou que vem crescendo muito a aplicação de tais tecnologias, principalmente devido à elevada quantidade de informações geradas e à necessidade de obter novos *insights* de dados não estruturados. Outra sublinhou que *big data* tem se mostrado cada vez mais uma ferramenta de direcionamento e auxílio estatístico, enquanto a computação em nuvem ainda é incipiente no setor.

Também a difusão da Produção Inteligente é percebida como baixa/moderada em alumínio e cimento. Uma primeira empresa ressaltou que sistemas conectados avançam rapidamente em novas linhas e fábricas na Europa, especialmente na Alemanha. Uma segunda mencionou que a tecnologia de troca eletrônica de dados (*electronic data interchange* – EDI), em conjunto com a produção sob demanda (*just-in-time*) deve se expandir intensamente. De outro lado, uma terceira destacou que, embora as perspectivas sejam promissoras, a difusão é ainda limitada.

Quanto aos novos materiais, a pressão competitiva é mais intensa sobre o alumínio do que sobre o cimento. Vislumbra-se uma tendência de multimateriais, no sentido de integração produtiva de vários materiais em vez da tradicional competição entre sucedâneos. Na mesma direção, observa-se a transformação de várias empresas monomateriais em multimateriais, como a Kobe Steel no Japão e a Arconic nos Estados Unidos. Embora a questão tenha sido levantada por apenas uma

companhia, concretizar essa trajetória seria a mudança mais radical de modelos de negócios cogitada pelas empresas consultadas. Em geral, as demais corporações analisam os *Clusters* Tecnológicos como mecanismos de otimização dos modelos de negócios atuais.

Já a difusão de materiais nanoestruturados é baixa ou mesmo inexistente. Quanto ao Armazenamento de Energia, constata-se a crescente difusão entre consumidores de alumínio, em particular em relação aos veículos elétricos. Contudo, esse *Cluster* Tecnológico ainda não é relevante para as indústrias mundiais de alumínio e cimento propriamente ditas.

Quanto à situação da IoT em 2022, uma das empresas declarou que a difusão será muito intensa, considerando a Lei de Moore e o crescimento exponencial dos sensores e da digitalização. Em relação às redes rápidas e seguras, todas as companhias foram unânimes em apontar uma acelerada taxa de desenvolvimento, com difusão moderada/alta – o mesmo ocorrendo para IA, *big data* e computação em nuvem. Com relação à difusão da Produção Inteligente, as expectativas foram divergentes, mas podem ser consideradas moderadas.

A preocupação das empresas não enfatizou a difusão de Materiais Avançados, mas sim o enobrecimento do *mix* de produtos. Em particular no caso do alumínio, espera-se o desenvolvimento de ligas mais leves e resistentes. Subentende-se que a difusão de novos materiais nas indústrias de alumínio e cimento no mundo será baixa em 2022, assim como de materiais nanoestruturados e de Armazenamento de Energia.

Para 2027, a percepção das indústrias de alumínio e cimento sobre a difusão dos *Clusters* IoT, Tecnologias de Redes rápidas e seguras, IA, *big data* e computação em nuvem e Produção Inteligente é alta. Entre outras consequências, essas tecnologias podem resultar em uma maior proximidade entre fornecedores e clientes (desintermediação). Quanto aos Materiais Avançados, as respostas privilegiaram o enobrecimento de produtos e a competição com sucedâneos. Um diagnóstico similar se observou para Materiais Nanoestruturados e Armazenamento de Energia. Já soluções de base biotecnológica podem ter aplicação específica em fábricas de cimento e suas instalações subsidiárias para mitigar emissões de CO₂. Assim, as questões de efeito estufa e mudanças climáticas podem gerar inovações capazes de alterar processos produtivos e modelo de negócios.

O Quadro 4 sistematiza a percepção predominante acerca da difusão global dos *Clusters* Tecnológicos nos setores de alumínio e cimento em três momentos: atualmente, em 2022 e em 2027. Constata-se uma convergência entre o grau de difusão e a intensidade do impacto em 2027 (Quadro 5).

Quadro 4 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão das tecnologias disruptivas nas indústrias mundiais de alumínio e cimento, 2017, 2022 e 2027

Tecnologia	2017	2022	2027
Internet das Coisas	Baixa	Moderada	Alta
Redes de comunicação rápidas e seguras	Baixa	Moderada/alta	Alta
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Baixa/moderada	Moderada/alta	Alta
Produção Inteligente e Conectada	Baixa/moderada	Moderada	Alta
Materiais Avançados nas indústrias de alumínio e cimento	Baixa	Baixa	Baixa
Materiais Avançados nos consumidores	Baixa	Moderada	Moderada
Materiais nanoestruturados	Baixa	Baixa	Baixa
Armazenamento de energia	Baixa	Baixa	Baixa

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 5 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão e à intensidade do impacto das tecnologias disruptivas nas indústrias mundiais de alumínio e cimento, 2027

	Difusão	Impacto
Internet das Coisas	Alta	Alto
Redes de comunicação rápidas e seguras	Alta	Alto
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Alta	Alto
Produção Inteligente e Conectada	Alta	Alto
Materiais Avançados nas indústrias de alumínio e cimento	Baixa	Baixo
Materiais Avançados nos consumidores	Moderada	Moderado
Materiais nanoestruturados	Baixa	Baixo
Armazenamento de energia	Baixa	Baixo

Fonte: Elaboração própria.

Na mineração, a percepção predominante aponta que a difusão atual da IoT é moderada. O setor tem muito a se beneficiar do uso da digitalização, tendo em vista a alta variabilidade de sua matéria-prima, que poderá ser mais bem compreendida e antecipada pela análise dos dados. Quando se trata de operações de plantas e lavras a céu aberto, existe uma variedade de recursos e opções bastante abrangentes para a aplicação da IoT. Contudo, os recursos ainda são restritos às operações em minas subterrâneas.

Para 2022, a difusão da IoT na mineração mundial deve ser moderada/alta. Acredita-se que essa tecnologia será dominada em todos os aspectos e tipos de operação, com ampla aplicação e utilização industrial. As questões de segurança e interoperabilidade dos diversos equipamentos e componentes, que hoje são o grande impeditivo para sua difusão total, estarão mais encaminhadas, mas ainda não totalmente seguras quanto aos acessos externos indevidos. A tendência de barateamento dessa tecnologia será um fator essencial para ampliar sua difusão – o que se espera atingir em 2027.

Já a difusão atual das Redes rápidas e seguras na mineração mundial é baixa/moderada. Uma das companhias comentou que as redes de comunicação hoje estruturadas em fibra ótica são muito rápidas, mas sua aplicação ainda é restrita em minas subterrâneas. Nestas, ainda predominam redes de comunicação baseadas em cabos coaxiais, que não possuem grande capacidade para transmissão de dados. Além disso, a substituição por fibra ótica é bastante onerosa.

Em cinco anos, entretanto, a difusão das redes rápidas e seguras na mineração global em 2022 deverá ser moderada/alta, mais uma vez se beneficiando do barateamento. As redes dos mais variados níveis deverão estar totalmente integradas. Já estarão disponíveis soluções industriais de transmissão consolidadas e economicamente mais atrativas que a fibra ótica, como as transmissões via rede elétrica (*broadband over power lines*). Em compensação, questões de infraestrutura urbana continuarão sendo uma restrição para a transmissão rápida de dados entre unidades e empresas. Ademais, a proteção contra-ataques cibernéticos continuará sendo a grande preocupação. Como em IoT, esse impeditivo deve ser superado em 2027, levando a uma difusão alta.

Segundo as companhias consultadas, a difusão atual das tecnologias IA, *big data* e computação em nuvem na mineração mundial é baixa/moderada. Por um lado, a computação em nuvem já é amplamente utilizada. As tecnologias e soluções de *data analytics* já são parte das estratégias de negócios. Dados e eventos de instrumentação de processos e equipamentos de produção são gerados em tempo real, com velocidade e volume tais que podem ser considerados *big data*. Por outro lado, a IA ainda é pouco usada na mineração, embora o campo de aplicação seja vasto. O aumento da difusão deverá ocorrer primeiramente em IA, possibilitando, com o auxílio do *big data*, tomadas de decisão automáticas em alguns processos administrativos. A difusão desses *Clusters* deverá ser moderada/alta em 2022 e alta em 2027.

Na percepção predominante entre as mineradoras, a difusão atual da Produção Inteligente na mineração global é baixa/moderada, mas espera-se que em 2022 essa tecnologia esteja plenamente dominada. Algumas empresas conseguirão se sobressair frente aos concorrentes, por serem mais seguras, mais produtivas e oferecerem custos operacionais menores. As soluções que buscam integrar a cadeia de produção ajudarão a aprimorar a capacidade das instalações e ativos existentes e melhorar o planejamento, o agendamento, a execução e a tomada de decisão. Além disso, uma empresa coordenará a produção em várias plantas e a cadeia de suprimentos será estendida. Os fabricantes proverão soluções que fornecerão a visibilidade e a coordenação necessárias à garantia de eficiência ótima na operação dos ativos globais. Em 2027, a difusão será alta.

Já as preocupações com os Materiais Avançados dizem mais respeito à pressão para o enobrecimento dos produtos – por causa da competição com sucedâneos – do que à possível difusão dos Materiais Avançados em suas operações. Uma mineradora, entretanto, constatou que a escassez de recursos naturais e a queda dos teores de metal nos recursos minerais disponíveis para a mineração têm direcionado estudos para materiais mais abundantes, como os resíduos industriais. Para isso, há um movimento de investimento no desenvolvimento e na difusão de tecnologias e processos com foco em: a) aumento da recuperação dos minérios de interesse usando Nanotecnologia; b) aproveitamento e aglomeração de finos e ultrafinos; c) recuperação e reaproveitamento de resíduos e elementos dispersos, inclusive processos para destinação alternativa de uso; d) tecnologias de baixo risco ambiental para disposição de resíduos, recuperação, reutilização, redução ou eliminação de uso de água; e e) monitoramento e controle de barragens e riscos ambientais.

As mineradoras indicam que a aplicação de novos materiais e novas ligas tem o potencial de impulsionar novos setores, reduzir peso e volume dos bens fabricados, customizá-los às necessidades de cada equipamento, melhorar propriedades desejadas, aumentar a vida útil e reduzir o consumo de materiais e energia. Dessa forma, as novas ligas trazem um grande benefício para consumidores finais e para a sociedade. Esse melhoramento se traduz na redução de consumo de energia, de emissões de gases do efeito estufa (GEE) e de ruídos, além de um aumento de segurança e durabilidade.

O Brasil também tem as maiores reservas mundiais de quartzo de alta qualidade. O mineral é processado para obtenção do silício, componente principal das células fotovoltaicas utilizadas na geração de energia solar. Portanto, uma vez mais, as mineradoras estão mais preocupadas com aproveitar as oportunidades de mercado dos Materiais Avançados do que propriamente com os efeitos da difusão desses materiais em seu setor.

Em relação aos materiais nanoestruturados, acredita-se que até 2027 as pesquisas estarão mais maduras e a tecnologia, mais difundida. No âmbito desses estudos

iniciais, encontram-se inúmeras pesquisas que ainda não chegaram à indústria. Uma delas é a de ligas nano estruturadas à base de magnésio, além de compostos à base de titânio e cromo, que objetivam armazenar elevadas quantidades de hidrogênio. Outras são a estrutura eletrônica de nanotubos de nitreto de carbono e a resistência mecânica de microestruturas em silício. Por fim, destacam-se os estudos topográficos e espectroscópicos de interfaces eletrificadas.

O Armazenamento de Energia já está sendo utilizado em minas no Chile, por exemplo, com o armazenamento de água marinha em reservatórios de altitude de modo a gerar energia na ausência de ventos ou de incidência solar. Outras mineradoras estão estudando a geração de energia a partir do armazenamento de água em barragens. A utilização de baterias na mineração se faz em equipamentos elétricos de minas subterrâneas, como escavadeiras e caminhões. Algumas mineradoras já estão testando essa tecnologia em minas no Peru. Contudo, é preciso reconhecer que o desenvolvimento de baterias de capacidade elevada e rapidez de carga – inclusive sem fio – ainda é incipiente, podendo-se considerar que a difusão do Armazenamento de Energia na mineração mundial é baixa/moderada.

Na visão das mineradoras, a geração de energia distribuída, bem como a utilização de equipamentos elétricos a bateria, tende a aumentar no setor, porque essas tecnologias elevam muito a eficiência energética e, por consequência, a competitividade das empresas. Contudo, até 2022 haverá uma utilização mista das tecnologias tradicionais e novas. Para os equipamentos móveis tradicionais de lavra, prevê-se um incremento da utilização de biodiesel. Em suma, a difusão de Armazenamento de Energia na mineração será moderada em 2022.

Para 2027, provavelmente existirão novas *startups* de mineração totalmente alimentadas por energia eólica e solar, com equipamentos móveis elétricos a bateria em todas as operações unitárias de lavra. Atribui-se uma alta probabilidade à utilização de baterias de zinco-argônio recarregáveis, que possuem mais de duas vezes a densidade de carga elétrica por peso que as atuais, de lítio. Assim, a concorrência com sucedâneos, que é muito tradicional entre metais, será uma tendência importante também para o *Cluster* Armazenamento de Energia.

Finalmente, a mineração, em comparação com os setores analisados anteriormente possui duas peculiaridades. A primeira é a maior importância relativa do *Cluster* Armazenamento de Energia, ressaltada tanto pela literatura internacional quanto pelas mineradoras brasileiras consultadas. A segunda é o aumento das possibilidades de aplicação de materiais nanoestruturados, ainda que com importância menor que outros *Clusters*. O Quadro 6 sistematiza a percepção predominante acerca da difusão global dos *Clusters* Tecnológicos no setor, enquanto o Quadro 7 sintetiza a difusão e a intensidade do impacto das tecnologias disruptivas na mineração mundial em 2027.

Quadro 6 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão das tecnologias disruptivas na mineração mundial, 2017, 2022 e 2027

Tecnologia	2017	2022	2027
Internet das Coisas	Moderada	Moderada/alta	Alta
Redes de comunicação rápidas e seguras	Baixa/moderada	Moderada/alta	Alta
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Baixa/moderada	Moderada/alta	Alta
Produção Inteligente e Conectada	Baixa/moderada	Moderada/alta	Alta
Materiais Avançados na mineração	Baixa	Baixa	Baixa
Materiais Avançados nos consumidores	Baixa	Moderada	Moderada
Materiais nanoestruturados	Baixa	Moderada	Moderada
Armazenamento de energia	Baixa/moderada	Moderada	Alta

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 7 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão e intensidade do impacto das tecnologias disruptivas na mineração mundial em 2027

	Difusão	Impacto
Internet das Coisas	Alta	Alto
Redes de comunicação rápidas e seguras	Alta	Alto
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Alta	Alto
Produção Inteligente e Conectada	Alta	Alto
Materiais Avançados na mineração	Baixa	Baixo
Materiais Avançados nos consumidores	Moderada	Moderado
Materiais nanoestruturados	Baixa	Baixo
Armazenamento de energia	Baixa	Baixo

Fonte: Elaboração própria.

Com relação à indústria de celulose, a adoção do *Cluster* de IoT não é maciça, e sua difusão atual é considerada baixa/moderada. Em cinco a dez anos, entretanto, sua difusão será alta, fazendo parte da rotina das pessoas e organizações.

Já a difusão atual das redes rápidas e seguras na indústria mundial de celulose é moderada/alta. As empresas enfatizaram, entretanto, que a intensidade da difusão depende da região de cada unidade, o que sugere dificuldades para sua plena adoção.

Ademais, as redes de máquina a máquina já estão sendo utilizadas dentro de uma mesma linha de produção, porém não entre linhas diferentes. A linha de conversão do papel ainda não está “enxergando” a linha de fabricação de papel, por exemplo. Já no setor florestal, a difusão das redes de comunicação ainda é baixa e o impacto é moderado. Em 2022, espera-se que a difusão das redes rápidas e seguras na indústria de celulose seja alta.

Uma das companhias consultadas declarou que a disseminação de IA, computação cognitiva, redes neurais e análises preditivas, entre outras ferramentas, ainda é muito pequena na indústria mundial de celulose frente às possibilidades vislumbradas. Da mesma forma, a análise da informação (*big data analytics*) tem utilização limitada. Essa situação parece estar associada a um leque de produtos relativamente estreito e fortemente padronizado. Mesmo em 2022, espera-se que a difusão do *Cluster* seja moderada.

Na percepção de uma companhia de celulose consultada, a Produção Inteligente apresenta algumas iniciativas em países desenvolvidos, mas ainda não é disseminada, muito menos em países e economias em desenvolvimento. Entretanto, na experiência específica da atividade florestal, a difusão e o impacto da produção inteligente já podem ser considerados relativamente moderados, e devem permanecer assim até 2022. Por fim, IoT, Redes, IA, *big data* e computação em nuvem e Produção Inteligente terão alta difusão em 2027.

Com relação aos Materiais Avançados, o desenvolvimento tecnológico ainda se encontra em escala piloto, exceto para algumas iniciativas pontuais. É consenso que os compósitos – principais representantes da categoria – têm difusão e impacto reduzidos. Espera-se, entretanto, que cheguem a um nível moderado em 2022.

De acordo com uma empresa, os materiais nanoestruturados apresentam baixa difusão e impacto nessa indústria. Contudo, os atuais desenvolvimentos, ainda em escala piloto, indicam inúmeras oportunidades para o setor, com aplicações internas – no âmbito dos próprios produtos do portfólio atual – e externas – na forma de produtos inovadores oferecidos no mercado complementando a linha de produção atual. Por exemplo, a maior operação em nanocelulose apresenta escala anual de apenas duas toneladas, e encontra-se instalada no Brasil. Em 2022, após a solução das questões toxicológicas inerentes ao produto nano, espera-se que a difusão seja moderada.

Como as florestas representam os grandes armazenadores de energia do setor, o Armazenamento de Energia apresenta hoje baixo impacto. De fato, as unidades de produção de celulose são atualmente autossuficientes na geração de energia, mas o mesmo não ocorre para as produtoras não integradas de papel. Para 2022, a difusão ainda deve ser baixa e, em 2027, moderada/alta.

Biotecnologia e Bioprocessos atualmente apresentam uma difusão moderada no setor florestal do segmento, e baixa na área industrial. Aplicações do uso de enzimas podem ser observadas em certas unidades, mas ainda têm impacto limitado diante da competitividade do segmento. No módulo industrial, a fábrica de celulose é uma biorrefinaria, mas a difusão dos conceitos de Biotecnologia e Bioprocessos é baixa, uma vez que não se emprega integralmente a ideia de extrair da base florestal todos os produtos que poderiam contribuir para reduzir a participação dos produtos não sustentáveis no cotidiano. Até 2022 devem ocorrer melhorias e a difusão deve se tornar moderada, em especial na edição de genomas para culturas vegetais. Essa previsão de avanços, contudo, pressupõe que aspectos regulatórios não serão entraves à adoção do *Cluster*.

De um modo geral, os impactos apontados parecem insuficientes para alterar radicalmente os modelos de negócios do segmento, tendendo sobretudo a reforçar estratégias competitivas predominantes. O Quadro 8 sistematiza a percepção predominante acerca da difusão global dos *Clusters* Tecnológicos no setor em três momentos: atualmente, em 2022 e em 2027. O Quadro 9 aponta para uma convergência entre o grau de difusão e a intensidade do impacto em 2027.

Quadro 8 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão das tecnologias disruptivas na indústria mundial de celulose, 2017, 2022 e 2027

Tecnologia	2017	2022	2027
Internet das Coisas	Baixa/moderada	Alta	Alta
Redes de comunicação rápidas e seguras	Moderada/alta	Alta	Alta
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Baixa	Moderada	Alta
Produção Inteligente e Conectada	Baixa	Moderada	Alta
Materiais Avançados na indústria da celulose	Baixa	Moderada	Alta
Materiais nanoestruturados	Baixa	Moderada	Alta
Armazenamento de energia	Baixa	Baixa	Moderada/alta
Biotecnologia e Bioprocessos avançados	Baixa/moderada	Moderada	Alta

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 9 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão e à intensidade do impacto das tecnologias disruptivas indústria mundial de celulose, 2027

Tecnologia	Difusão	Impacto
Internet das Coisas	Alta	Moderado
Redes de comunicação rápidas e seguras	Alta	Alto
Inteligência artificial, <i>big data</i> e computação em nuvem	Alta	Moderado
Produção Inteligente e Conectada	Alta	Alto
Materiais Avançados na indústria da celulose	Alta	Alto
Materiais nanoestruturados	Alta	Alto
Armazenamento de energia	Moderada/alta	Alto
Biotecnologia e Bioprocessos avançados	Alta	Alto

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 10 sistematiza a percepção predominante das companhias consultadas acerca da difusão atual dos *Clusters* Tecnológicos nas respectivas indústrias mundiais. A visão predominante sugere uma difusão baixa na grande maioria deles. Talvez a única exceção relevante sejam as redes rápidas e seguras, cuja difusão foi avaliada como moderada para siderurgia, baixa/moderada para mineração e moderada/alta para celulose. O mesmo exercício foi realizado para 2022, cujos resultados são apresentados no Quadro 11. A percepção predominante indica que uma difusão moderada para a maioria dos *Clusters*.

Quadro 10 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão das tecnologias disruptivas nos insumos básicos no mundo, 2017

Tecnologia	Siderurgia	Alumínio e cimento	Mineração	Celulose
Internet das Coisas	Baixa	Baixa	Moderada	Baixa/moderada
Redes de comunicação rápidas e seguras	Moderada	Baixa	Baixa/moderada	Moderada/alta
IA, <i>big data</i> e computação em nuvem	Baixa	Baixa/moderada	Baixa/moderada	Baixa
Produção Inteligente e Conectada	Baixa	Baixa/moderada	Baixa/moderada	Baixa
Materiais Avançados no setor analisado	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Materiais Avançados nos consumidores	Baixa	Baixa	Baixa	-
Materiais nanoestruturados	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Armazenamento de energia	Baixa	Baixa	Baixa/moderada	Baixa
Biotecnologia e Bioprocessos avançados	-	Baixa	-	Baixa/moderada

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 11 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão das tecnologias disruptivas nos insumos básicos no mundo, 2022

	Siderurgia	Alumínio e cimento	Mineração	Celulose
Internet das Coisas	Moderada	Moderada	Moderada/alta	Alta
Redes de comunicação rápidas e seguras	Moderada/alta	Moderada/alta	Moderada/alta	Alta
IA, <i>big data</i> e computação em nuvem	Moderada	Moderada/alta	Moderada/alta	Moderada
Produção Inteligente e Conectada	Moderada	Moderada	Moderada/alta	Moderada
Materiais Avançados no setor analisado	Baixa	Baixa	Baixa	Moderada
Materiais Avançados nos consumidores	Moderada	Moderada	Moderada	-
Materiais nanoestruturados	Baixa	Baixa	Moderada	Moderada
Armazenamento de energia	Baixa	Baixa	Moderada	Baixa
Biotecnologia e Bioprocessos avançados	-	Moderada	-	Moderada

Fonte: Elaboração própria.

Em 2027, para alumínio e cimento, mineração e celulose, a difusão da maioria dos *Clusters* Tecnológicos tende a ser elevada, enquanto a siderurgia aposta numa adoção moderada (Quadro 12). De modo geral, IoT, redes rápidas e seguras, IA, *big data*, computação em nuvem e Produção Inteligente serão relevantes para a maior parte dos insumos básicos. A celulose se diferencia mais dos outros setores porque indica difusão mais elevada para Materiais Avançados e Materiais Nanoestruturados, além de Biotecnologia e Bioprocessos avançados.

Quadro 12 – Percepção das empresas consultadas quanto à difusão das tecnologias disruptivas nos insumos básicos no mundo, 2027

	Siderurgia	Alumínio e cimento	Mineração	Celulose
Internet das Coisas	Alta	Alta	Alta	Alta
Redes de comunicação rápidas e seguras	Alta	Alta	Alta	Alta
IA, <i>big data</i> e computação em nuvem	Moderada	Alta	Alta	Alta
Produção Inteligente e Conectada	Moderada	Alta	Alta	Alta
Materiais Avançados no setor analisado	Moderada	Baixa	Baixa	Alta
Materiais Avançados nos consumidores	Moderada	Moderada	Moderada	-
Materiais nanoestruturados	Baixa/moderada	Baixa	Moderada	Alta
Armazenamento de energia	Moderada	Baixa	Alta	Moderada/alta
Biotecnologia e Bioprocessos avançados	-	Alta	-	Alta

Fonte: Elaboração própria.

Dessa maneira, de forma mais abrangente, a percepção predominante das companhias brasileiras consultadas indica uma baixa difusão dos novos *Clusters* na siderurgia mundial, à exceção das tecnologias de rede de comunicação, que possuem difusão moderada.

Já a expectativa dominante das siderúrgicas para 2022 sugere a liderança das redes em termos de difusão (moderada/alta). No outro extremo, Materiais Nanoestruturados e Armazenamento de Energia persistirão com baixa difusão. Os demais *Clusters* Tecnológicos apresentarão difusão moderada.

2.4 Conclusão

A percepção das empresas siderúrgicas consultadas aponta para uma difusão incipiente dos *Clusters* Tecnológicos na siderurgia brasileira de hoje. As empresas acompanham de perto o que está sendo feito em outros países, preocupam-se com a ampliação do hiato tecnológico e compreendem que é necessário acelerar os esforços nacionais.

A Indústria 4.0 está mais consolidada no exterior do que no Brasil – o que torna mais urgentes os esforços das empresas brasileiras pela digitalização. Embora existam várias iniciativas no país, ainda se encontram em fase de desenvolvimento. Na Europa, por sua vez, constata-se um plano integrado entre empresas e universidades, com forte apoio governamental. Por exemplo, na Alemanha, na França e na Espanha já existem estratégias elaboradas para a transformação da indústria, com planos integrados entre fornecedores e clientes. Iniciativas importantes também ocorrem nos Estados Unidos e na China, que em maio de 2015 divulgou a *Made in China 2025*, uma estratégia nacional para a tecnologia industrial avançada.

No Brasil, o tema entrou na pauta governamental por meio do recente lançamento de um trabalho conjunto entre Governo e instituições para elaborar o plano de ação para a Indústria 4.0, tendo à frente o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC). A expectativa é positiva quanto à disseminação do potencial de geração de valor pelas tecnologias e à estruturação sistêmica das ações necessárias para o diálogo conjunto dos diversos atores envolvidos. Reconhece-se a premência de acelerar o processo para que não aumente o hiato tecnológico frente à concorrência internacional.

O tema desperta grande curiosidade e preocupação entre as siderúrgicas brasileiras, que veem na Indústria 4.0 uma grande alavanca para atingir melhores resultados por meio da eliminação de desperdícios, otimização de custos, simplificação de processos e aumento de produtividade. Buscam, portanto, acompanhar as principais inovações colocadas em prática no mercado internacional.

Ao mesmo tempo, mencionam criticamente que as soluções tecnológicas são quase todas oriundas de outros países, pois empresas e academia nacionais não apresentaram propostas e projetos significativos no passado recente. Outro aspecto negativo é a distância entre os investimentos e incentivos do Governo e as empresas pequenas e médias, que deveriam ter um papel proeminente na geração e na difusão dessas tecnologias. Constatam-se limitações em termos de disponibilidade de capital intelectual no país – o que tende a restringir a difusão dos *Clusters* Tecnológicos discutidos nesse documento.

Duas das três empresas da indústria de alumínio e cimento consultadas destacaram enfaticamente que a indústria brasileira se encontra muito distante do estado da arte tecnológico, ambas caracterizando a difusão dos *Clusters* Tecnológicos na indústria de alumínio e cimento com o uso do verbo “engatinhar”. Uma informou que “ainda estamos engatinhando nessas tecnologias, a indústria da China e da Alemanha tem liderado essas questões”. Outra declarou que

o Brasil ainda engatinha neste uso de novas tecnologias. O atual cenário econômico tem afugentado os investimentos, o que nos deixa em um cenário mais difícil ainda de competir. Se compararmos nossa produção com a dos países asiáticos, grandes países europeus e Estados Unidos, estamos vários anos atrás.

A mineração em geral prioriza projetos mais incrementais do que transformacionais. As tecnologias de fronteira estão apenas em estágio preliminar, com raríssimos modelos de aplicação. Uma das mineradoras apontou que se encontra no “mesmo estágio dos concorrentes nacionais e muito atrasada em relação aos competidores internacionais. Há uma série de boas iniciativas concretas e conceituais, mas acabam sendo sufocadas por questões imediatistas”. Isso reforça o diagnóstico anterior sobre a defasagem frente aos melhores competidores internacionais.

Por outro lado, o setor de celulose é o que mais se aproxima das melhores práticas mundiais no âmbito dos insumos básicos. Uma das empresas afirmou que é indiscutível a superioridade da produtividade florestal brasileira em relação aos competidores internacionais, mesmo sem utilizar plenamente as TIC disponíveis para o manejo florestal. O desafio é viabilizar a atualização tecnológica das unidades mais antigas e menores.

Comparando a difusão atual no Brasil e no mundo, nenhuma empresa brasileira se considera madura em *analytics*, contra 18% da amostra mundial. Além disso, apenas 9% das brasileiras se classificam como avançadas em digitalização, contra 33% da média mundial. Porém, 72% das companhias brasileiras indicaram que alcançarão um patamar elevado de digitalização em 2020, em consonância exata com o *benchmarking* mundial (PWC, 2016b).

Para que as empresas brasileiras realizem o *catch-up*, precisarão investir consideravelmente. O problema constatado por PWC (2016b) é que investem pouco atualmente, pois somente 10% delas gastam mais do que 8% de suas receitas com digitalização. Ao mesmo tempo, 63% das companhias brasileiras esperam retorno de seus investimentos em até dois anos, contra 55% da amostra mundial. Isto sugere que estão se concentrando em projetos de ótima relação custo-benefício – o que é compreensível em função da gravidade da crise econômica nacional e dos preços internacionais desfavoráveis para vários de seus produtos. Compensar tais problemas de defasagem e baixo investimento demandará um esforço muito intenso da totalidade das companhias brasileiras de insumos básicos – mas não necessariamente de cada indústria – no final desta década.



3

3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES

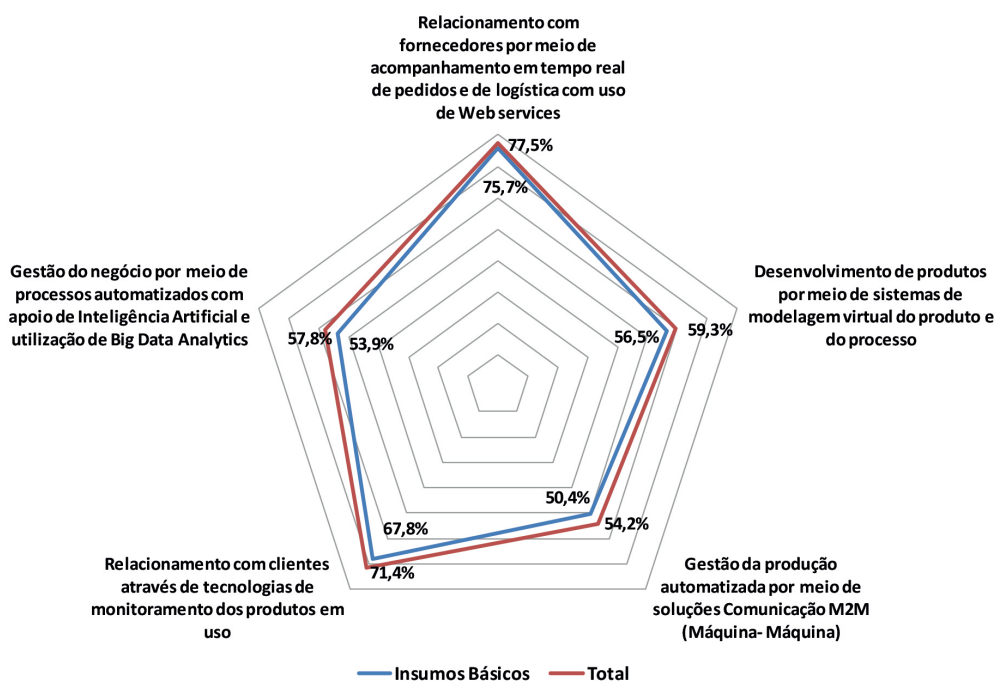
3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais

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 Conectada e Inteligente, 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 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 Insumos Básicos, foram obtidas 115 respostas válidas. Mais detalhes sobre a pesquisa de campo encontram-se no Anexo desse documento.

Neste sistema produtivo, 60,9% dos respondentes atribuíram probabilidade alta ou muito alta de a geração 4.0 de tecnologias digitais ser dominante até 2027. As maiores probabilidades são referentes a tecnologias digitais empregadas no Relacionamento com fornecedores (75,7%) e no Relacionamento com clientes (67,8%). A menor probabilidade é atribuída para as tecnologias associadas à Gestão da Produção (50,4%) (Gráfico 1).

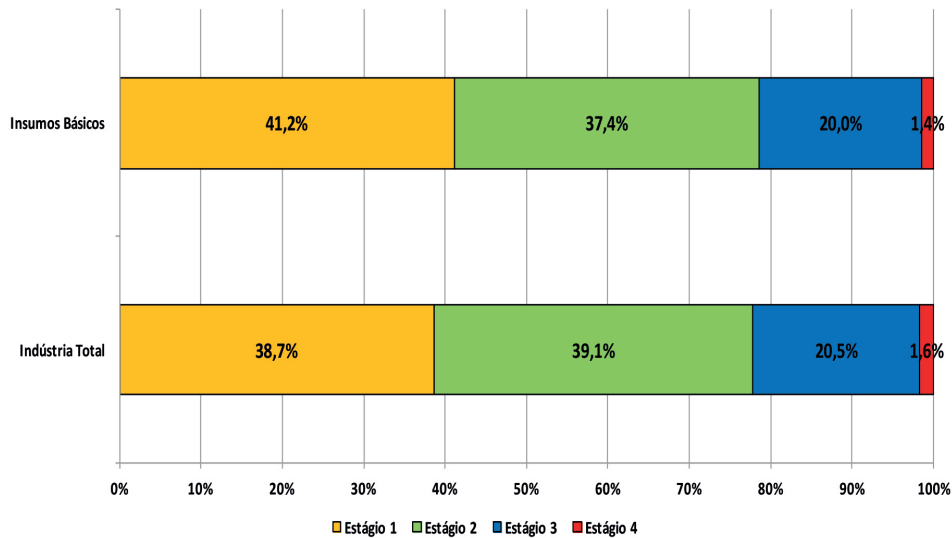
Gráfico 1 – Probabilidade “alta” ou “muito alta” de as tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes no setor de atuação (entre cinco e dez anos) para as funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP insumos básicos e total da indústria



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

Hoje, 21,4% das empresas brasileiras utilizam as tecnologias da geração digital mais recentes, relativas às gerações 3 ou 4, sendo que apenas 1,4% do painel já adota tecnologias da geração digital 4, proporção próxima ao total da indústria (1,6%). Já o percentual de conjunto de empresas que estão nas gerações 3 ou 4 no SP Insumos Básicos é um pouco inferior à média da indústria (22,2%).

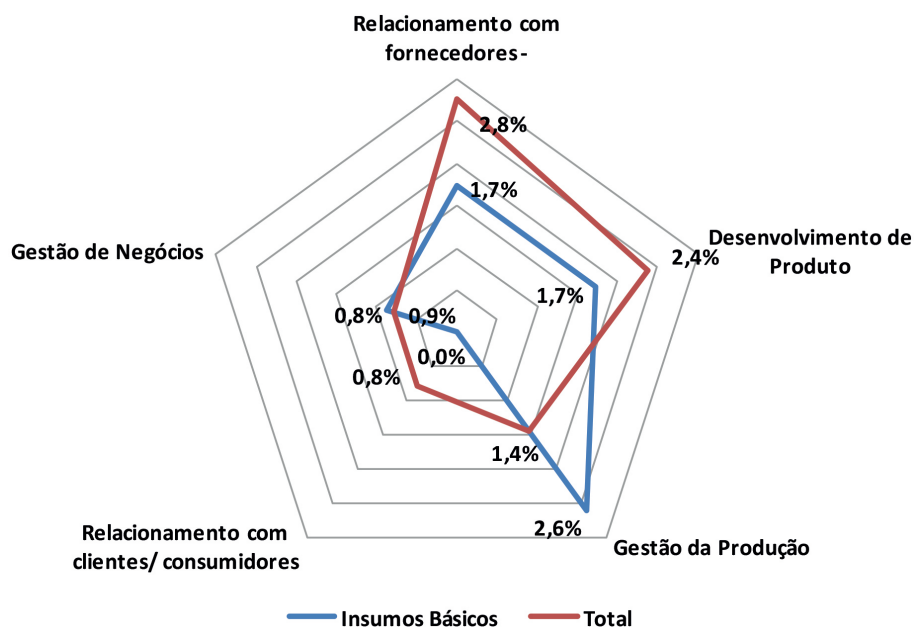
Gráfico 2 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje, em % do número de empresas – SP insumos básicos e total da indústria



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

Observa-se uma tendência à difusão menos intensa dessas tecnologias no SP Insumos Básicos, em especial na função de relacionamento com clientes (0,0% contra 0,8%). Uma exceção é a função de gestão da produção, na qual o percentual no setor (2,6%) é expressivamente superior à média geral.

Gráfico 3 – Percentual de respondentes atualmente na geração tecnológica digital 4.0 por funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP insumos básicos e total da indústria



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

Em 2027, 20,2% dos respondentes esperam estar na geração digital 4.0. Esse número significa uma expansão importante, tendo em vista a taxa de adoção de hoje (1,4%), mas estaria abaixo da média geral (21,8%). Nas gerações 3 ou 4 estariam 53,9% das empresas do SP Insumos Básicos, valor superior à média geral (58,7%).

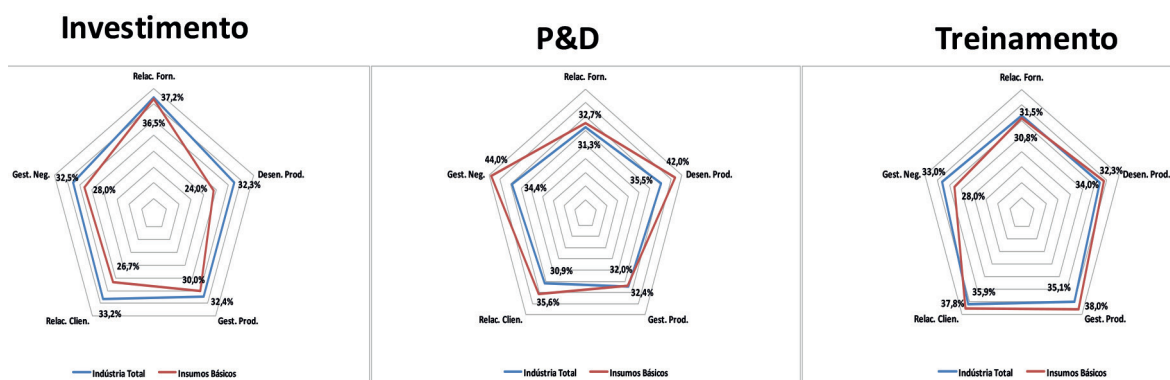
Na comparação de 2017 com 2027, os maiores níveis em termos da adoção das tecnologias digitais da geração 4 são esperados na função de Relacionamento com fornecedores (30,4%) e de Gestão de negócios (20,0%), enquanto maiores avanços são esperados no caso da Gestão da produção e da Gestão de negócios. Em termos comparativos, observa-se, em geral, uma menor expectativa de difusão em relação à média geral, com exceção da Gestão da produção, onde ocorreria o inverso.

No caso dos impactos sobre a competitividade decorrentes da adoção das tecnologias da geração 4.0, há pouca diferenciação entre três atributos considerados (custo, prontidão, customização), apesar de o impacto ser um pouco superior no caso de "custo". Para as funções organizacionais analisadas, os impactos são maiores em Gestão da produção, com ênfase em "custo", e Relacionamento com fornecedores, na qual o atributo "prontidão" se revela mais importante.

Atualmente, a grande maioria das empresas encontra-se em estágio muito inicial de adoção das tecnologias mais avançadas. Dentre as funções, a intensidade desse esforço é um pouco maior em Relacionamento com fornecedores, mas, mesmo assim, considerando o conjunto das funções organizacionais, 43,4% das empresas não estão se movimentando para a adoção das tecnologias 4.0 e 30,4% encontram-se ainda em estudos iniciais nesse sentido. No caso das ações em execução o percentual observado no setor (13,5%) era inferior ao observado para o conjunto do painel (15,1%).

Comparativamente ao total do painel, observa-se uma maior intensidade de esforços em P&D e treinamento e uma menor intensidade no caso de investimento. O percentual de empresas com ações em execução atingia um maior percentual no caso das funções Gestão de negócios e Desenvolvimento de produto para P&D, destacando-se também essas ações na função Gestão da produção na área de treinamento (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0 – SP insumos básicos e total da indústria



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

Como tendência geral, observa-se hoje uma taxa de adoção das tecnologias 4.0 extremamente reduzida. Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, que pode estar fundamentada em estímulos da dinâmica competitiva setorial e na possibilidade de geração de impactos efetivos sobre diferentes atributos determinantes da competitividade. As evidências indicam que essas inovações podem ser implementadas em áreas distintas da empresa, num ritmo diferenciado, e que, eventualmente, podem surgir mecanismos de retroalimentação entre diversas funções organizacionais, capazes de gerar uma aceleração geral do ritmo de difusão.

3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas

Considerando a totalidade dos setores, a difusão dos *Clusters* Tecnológicos no mundo é atualmente baixa, devendo ser moderada em 2022 e alta em 2027. Quanto à situação brasileira, as empresas consultadas – à exceção das de celulose – relataram uma defasagem frente às melhores práticas internacionais. Além disso, os desafios para realizar o *catch-up* são substanciais – o que exigirá um incremento significativo dos esforços das companhias brasileiras.

Em matéria de tecnologia e de modelo de negócios, os *Clusters* tendem a não revolucionar a maioria dos setores compreendidos como insumos básicos no horizonte temporal de 2027. Seja na literatura pesquisada, seja nos questionários respondidos, nada indica que as inovações disruptivas mudem radicalmente os parâmetros que norteiam as economias de escala nos setores examinados. Nesse sentido, vale a pena reexaminar a experiência da Big River Steel, caracterizada por alta produtividade e *ramp-up* acelerado, com efeitos positivos sobre os custos. Mais importante, porém, é constatar que seu volume de investimentos continua elevado.

Os benefícios mencionados pelas siderúrgicas brasileiras foram diversos, dos quais destacamos primeiramente a capacidade de gestão, com aumento da flexibilidade do negócio, da previsibilidade e da precisão de informações, enquanto a antecipação de eventos de diversas naturezas se conjuga à rapidez nas tomadas de decisão. Já o desenvolvimento de produtos passa por uma redução de ciclo, ao mesmo tempo em que permite produtos mais personalizados e conectados.

A eficiência produtiva cresce, proporcionando aumentos de produtividade, de qualidade de conformidade dos produtos, de eficácia geral dos equipamentos, de integração com fornecedores e clientes, de segurança do trabalho e de indicadores de pontualidade e qualidade (*on time in full* – OTIF), além de eficiência energética. Já a otimização do capital de giro e o aprimoramento da exatidão de inventários contribuem para um melhor desempenho financeiro.

3.3 Desafios para a indústria brasileira

O primeiro desafio é tratar o tema de forma estruturada e organizada. As ações de diversos segmentos e órgãos carecem de convergência e direção unificada. Ressalta-se tardia elaboração de um plano nacional – o que agrava o risco de ampliação do hiato tecnológico.

As indústrias brasileiras de modo geral aplicam as tecnologias motivadas apenas por fatores internos, sem apoio explícito de agentes externos. Neste sentido, é necessário construir um ecossistema que facilite sua implementação e envolva universidades, aceleradoras e incubadoras de *startups*, profissionais da indústria capacitados, empresas, centros de tecnologia e outros agentes de transformação. No caso das universidades, a aproximação entre trabalhos de pesquisa e desafios empresariais merece atenção especial.

As tecnologias associadas aos *Clusters* investigados são factíveis e facilmente adaptáveis à realidade nacional, sendo algumas inclusive já utilizadas. As principais soluções tecnológicas, porém, são ofertadas por empresas multinacionais de grande porte, enquanto poucas brasileiras contribuem com algumas soluções interessantes, principalmente porque os setores de alta tecnologia são pouco relevantes na economia do país. Além disso, muitas vezes as firmas mais promissoras acabam sendo adquiridas por estrangeiras. Assim, perpetua-se a dependência tecnológica com relação a outros países.

Os principais desafios apontados pelas empresas consultadas se relacionam aos impactos do ambiente macroeconômico, à dificuldade de apropriação dos ganhos econômicos derivados dos novos produtos, à tecnologia e à heterogeneidade intrasectorial. Como seria de se esperar, um ambiente recessivo e com alta instabilidade constitui um forte desincentivo aos investimentos, em particular para aqueles focados

no atendimento do mercado doméstico. Por exemplo, no caso da siderurgia, a recessão acarretou um desequilíbrio considerável entre a capacidade instalada e a demanda. Combinado à baixa rentabilidade e ao alto custo de capital, esse processo tende a deprimir os investimentos setoriais. No caso da celulose, mesmo com baixa ociosidade e o recente aumento dos preços internacionais, observa-se também preocupação com a disciplina dos investimentos.

A transformação em um novo modelo de negócios requer um mercado disposto a pagar pelo novo produto ou serviço. Nesse sentido, é fundamental que as companhias consigam enxergar tais benefícios a fim de fomentar os investimentos nas novas tecnologias. Este parece ser o maior gargalo que enfrentam os insumos básicos, uma vez que a maioria dos setores no Brasil – à exceção da celulose – se encontra distante das melhores práticas mundiais quanto à difusão dos *Clusters Tecnológicos*.

Pode-se dizer que os eventuais impactos quanto à transformação dos modelos de negócios não são hoje a principal preocupação das companhias entrevistadas. De fato, o objetivo primordial é obter o maior ganho possível com as tecnologias disponíveis para reforçar os modelos de negócios já existentes.

No que tange à tecnologia, os principais problemas dizem respeito aos sistemas legados e ao parque de máquinas, com ciclos de vida de 20 a 30 anos. Porém, é possível avançar por várias iniciativas que proporcionam ganhos significativos de produtividade, com a otimização das horas trabalhadas e a maior exatidão das informações prestadas. Na mesma direção, o monitoramento *online* do comportamento dos equipamentos permite intervir de forma programada mediante a previsão de falhas, aumentando a disponibilidade e a confiabilidade dos parques de produção.

Constata-se, portanto, que o sistema de insumos básicos é primordialmente absorvedor das tecnologias disruptivas elencadas. A exceção se encontra nas oportunidades em Materiais Avançados, que se conectam também à Nanotecnologia e ao Armazenamento de Energia.

Na siderurgia, o avanço dos compósitos acirra a competição com sucedâneos, implicando melhoria do *mix* de produtos, como no desenvolvimento de ligas e compostos intermetálicos, assim como materiais magnéticos nanoestruturados.

No caso do alumínio, prevê-se o desenvolvimento de ligas mais leves e resistentes. Nesse setor e em cimento, a consolidação da tendência a empresas multimateriais será a mudança mais radical de modelo de negócios cogitada pelas empresas consultadas.

Na indústria de celulose, constatam-se muitas oportunidades para aplicação interna – no âmbito dos produtos do portfólio atual – e externas – na forma de produtos inovadores que complementem a linha de produção atual – de Materiais Nanoestruturados, como a nanocelulose.

É na mineração, porém, que o desenvolvimento e a difusão de Materiais Avançados ganham proeminência e têm o potencial de impulsionar novos setores. Trazem consigo a capacidade de reduzir peso e volume dos produtos, customizá-los às necessidades de cada equipamento, melhorar propriedades desejadas, aumentar sua vida útil e reduzir o consumo de materiais e energia. As novas ligas trazem grande benefício para os setores consumidores, reduzindo o consumo de energia, as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e os ruídos, além de aumentar segurança e durabilidade.

Merecem igualmente atenção o potencial das reservas brasileiras de quartzo de alta qualidade para a produção de células fotovoltaicas. Até 2027, acredita-se que as pesquisas já estarão mais maduras e a tecnologia, mais difundida. No âmbito desses estudos, encontram-se as ligas nanoestruturadas à base de magnésio e os compostos à base de titânio e cromo, capazes de armazenar elevadas quantidades de hidrogênio. Na mesma situação estão as estruturas eletrônicas de nanotubos de nitreto de carbono e as microestruturas resistentes em silício.

3.4 Implicações

Constata-se que o nível de maturidade digital nos insumos básicos no Brasil é heterogêneo não apenas intrasetorialmente, mas também intersetorialmente. Alcançar o patamar necessário de geração e difusão dessas tecnologias demandará programas e ações específicas de médio e longo prazo.

Em termos de cultura organizacional, verifica-se a predominância de um modelo conservador e tradicional que impõe uma barreira adicional à inovação e à transformação rumo a uma nova realidade, na qual a integração e a exposição controlada são importantes para alcançar novos resultados. Mudar a cultura empresarial para uma mentalidade mais ágil, eficiente e de menor custo é fundamental para a sobrevivência das empresas do setor. Um maior grau de flexibilização do modelo de liderança será requerido na migração para a Indústria 4.0. A transição para esse novo modelo mental dependerá intensamente da competência na gestão da mudança e na formação de recursos humanos.

Além de encontrar o modelo de negócios apropriado, as empresas terão que se aprofundar e entender as novas tecnologias e processos de trabalho. Novos especialistas serão criados e novas características pessoais serão desenvolvidas. Caberá às companhias preparar o capital humano adequado ao novo contexto. Outro aspecto importante se concentrará em sua capacidade de internalizar novos conceitos e tecnologias – o que requer mais cooperação ativa com *startups*, empresas de alta tecnologia, universidades e centros de pesquisa.

No que se refere aos obstáculos das siderúrgicas em termos de cultura organizacional, pessoal, finanças, modelo de negócios, sistemas e segurança da informação, as mudanças necessárias são muitas. No que se refere à cultura, essas tecnologias enfrentarão o desafio da transformação da forma de operar, acarretando um grande questionamento ao *status quo* nas indústrias de perfil mais conservador e histórico menos inovador. No que se refere a pessoal, será necessário formar recursos humanos capacitados e com a mentalidade adequada a essa mudança. As finanças precisarão administrar margens menores nos resultados de curto prazo sem abrir mão dos esforços por mudança, que requerem recursos vultosos e implementação longa até a obtenção de resultados. Além disso, enfrentarão as restrições ao investimento decorrentes do excesso de capacidade de produção de aço.

A desarticulação dos modelos de negócios existentes pelas novas tecnologias demandará o desenvolvimento e a otimização de novos modelos – o que requer esforço e tempo. Ao mesmo tempo, será necessário garantir interoperabilidade entre sistemas e flexibilidade para o ambiente por meio da adequação das tecnologias aos requisitos de cada processo e da criação de plataformas que integrem novas soluções fabris a sistemas legados. Por fim, será necessário desenvolver segurança cibernética para lidar com os riscos associados à convergência de redes de tecnologia da automação (TA) e da informação (TI).

Para várias das empresas consultadas, o objetivo principal deve ser a construção de um projeto conjunto entre Governo e instituições que integre os instrumentos políticos atualmente difusos entre diversos órgãos. Isso contribuirá para a efetiva governança nacional sobre o tema e para o desenvolvimento do ecossistema da Indústria 4.0 no Brasil, que tem que existir como política de governo, estruturada e conduzida com o apoio de órgãos de fomento.

O plano nacional da Indústria 4.0 precisa apresentar políticas claras, direcionadas, incentivando o desenvolvimento de tecnologia no âmbito das empresas. Além disso, as regras devem fomentar pequenas e médias empresas inovadoras, com incentivos que contemplem diversos aspectos. Financeiramente, é necessário estimular as atividades inovadoras, a formação de recursos via capacitação de empreendedores, e alterar os marcos regulatórios de modo a diminuir a burocracia para abertura e fechamento de empresas. Outras mudanças incluem a flexibilização das relações de trabalho, o adensamento do sistema nacional de inovações – com maior cooperação entre o setor produtivo e a comunidade acadêmica – e a melhoria da frágil infraestrutura de Internet no país.



REFERÊNCIAS

ABAL (2017). **Anuário estatístico 2016**. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio (ABAL).

AUCHARD, E. & KÄCKENHOFF, T. **ThyssenKrupp secrets stolen in ‘massive’ cyber-attack**. Reuters. 8 de dezembro de 2016.

BASSON, E. (2017). **Changing structures in the world and EU steel**. Eurometal world steel distribution & SSS summit. Düsseldorf: Eurometal.

BLYTH, A. & K. W. LANDAU (2017). Big River Steel: America’s newest steel mill. **Iron & Steel Technology**. v. 14, n. 3, pp. 37-50.

BTG PACTUAL (2017). **Pulp pulse #2: This rally has legs**. Fibria our top-pick. São Paulo: BTG Pactual.

CHO, Y-D. (2017). **The 4th Industrial Revolution and its impact on the future steel industry and steel demand**. 83rd session of OECD steel committee. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).

CHO, H. & M-K. KONG (2017). The steel industry over the next two decades. **Asian Steel Watch**. n. 3, pp. 38-45.

CHOI, D. (2017). Future megatrends and the steel industry. **Asian Steel Watch**. n. 3, pp. 6-11.

CITI (2012). **PRC metals & mining: Stimulus won’t work this time**. Hong Kong: Citi Research.

CREDIT SUISSE (2017). **Commodities forecasts bulks: price rollercoaster**. Sydney: Credit Suisse.

DE PAULA, G.M. (2001). **Glória do passado. Metalurgia & Materiais**. v. 57, n. 515, pp. 634-635.

DE PAULA, G.M. (2002). **Cadeia produtiva de siderurgia. Nota técnica do “Estudo de competitividade por cadeias integradas: um esforço coordenado de criação de estratégias compartilhadas”**. Brasília: Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Instituto de Economia da Unicamp.

DE PAULA, G. M. (2017). Brazil’s pig iron exports. **Steel Times International**. v. 41, n. 5, pp. 14-15.

FURTADO, M.A.T *et al.* (2000). A gestão de pesquisa e desenvolvimento em empresas siderúrgicas privatizadas. **Revista de Administração**. v. 35, n. 1, pp. 51-62.

IABr (2017a). **Anuário estatístico 2017**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IABr).

IABr (2017b). **Mercado brasileiro de aço: análise setorial e regional**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IABr).

IBÁ (2017). **Relatório 2017**. São: Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ).

IBGE (2017). **Pesquisa industrial anual de empresa 2015**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

IEDI (2017). **Indústria mundial: O Brasil na contramão dos emergentes**. São Paulo: Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial/IEDI (Carta IEDI, n. 809).

KINCH, D. (2017). Artificial Intelligence in steel: mills embrace big data, robotics. **Metals Insight**. v. 12, n. 14.

MACQUARIE (2017). **Global diversified miners: Letting go of the past**. London: Macquarie.

MELLO LOPES, M. P. (2017). **A indústria brasileira do aço: Situação atual e perspectivas**. 28º Congresso Brasileiro do Aço. Brasília: Instituto Aço Brasil (IABr).

MONTEBELLO, A. E. S. & C. J. C. BACHA (2013). Impactos da reestruturação do setor de celulose e papel no Brasil sobre o desempenho de suas indústrias. **Estudos Econômicos**. v. 43, n. 1, pp. 109-137.

MORRIS, G. (2017). All set for the digital era. **Glass International**. v. 40, n. 9, pp. 21-25.

NOLDIN JR., J. H. (2017). Big River Steel. **Revista ABM**. v. 72, n. 645, pp. 56-57.

PARK, H-K. (2017). Understanding the new mobility paradigm. **Asian Steel Watch**. n. 3, pp. 12-19.

OPPELT, R. (2017). **Digital and circular economy: disruption to global steel demand**. Alacero 58. Cancún: Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero).

PETERS, H. (2016). **Application of Industry 4.0 concepts at steel production from an applied research perspective**. 17th IFAC Symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Mineral and Metal Processing. Vienna: *International Federation of Automatic Control* (IFAC).

PETERS, H. (2017). **How could Industry 4.0 transform the steel industry?** Future Steel Forum. Warsaw: Steel Times International.

PWC (2016a). **Industry 4.0: Building the digital enterprise.** Metals key findings. Munich: PricewaterhouseCoopers (PWC).

PWC (2016b). **Indústria 4.0: Digitalização como vantagem competitiva no Brasil.** São Paulo: PricewaterhouseCoopers (PWC).

PRIYANKA, P. (2017). Scientists turn to big data in hunt for minerals, oil and gas. **Reuters.** 2 de agosto de 2017.

RÜHL, G. & R. KIRKLAND (2016). How a steel company embraced digital disruption. **McKinsey Quarterly.** May 2016.

SILVA, F. & A. DE CARVALHO (2016). **Research and development, innovation and productivity growth in the steel sector.** Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).

FONTES, S. (2017a). Venda de cimento pode subir até 1% em 2018. **Valor Econômico** 12 de setembro de 2017.

FONTES, S. (2017b). **Produção brasileira de celulose cai 4,2% em setembro, aponta indústria.** Valor Econômico. 25 de outubro de 2017.

FONTES, S. (2017c). Preço da celulose dispara e puxa lucro de produtores. **Valor Econômico.** 30 de outubro de 2017.

STICKLER, D. (2017). **Big River Steel: A new company and new way to think about steel.** XXXII Steel Survival Strategies. New York: American Metal Market / World Steel Dynamics.

USGS (2017). **Cement. Mineral Commodity Summaries.** Reston: U.S. Geological Survey (USGS).

WSA (2017). **World steel in figures 2017.** Brussels: World Steel Association (WSA).



ANEXO - DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP INSUMOS BÁSICOS

A1 Caracterização do painel 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 Conectada e Inteligente, 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.

O período de coleta transcorreu entre 1º/06/2017 a 1º/11/2017, tendo sido obtidas 813 respostas. Após crítica para eliminar situações de incongruência das informações, obteve-se uma base de dados composta por 759 estabelecimentos.

A1.3 Caracterização dos respondentes

Na base de dados, o sistema produtivo de Insumos Básicos (SP Insumos Básicos) perfaz um total de 115 empresas, correspondentes a 15,2% do total da amostra.

A Tabela A1 apresenta as características da subamostra do SP Insumos Básicos. Das 60 empresas que informaram o número de empregados (52,2% do total), 45% se classificavam como empresas de grande porte (mais de 500 empregados); 35%, como empresas de médio porte (entre 100-250 empregados); e 20%, como empresas de médio-grande porte (entre 250-500 empregados). Em termos da origem do capital, 87% eram de propriedade de capital nacional. Em termos do subsetor de atuação dentro da indústria de Insumos Básicos, verifica-se que a maioria era, respectivamente, de empresas de Celulose e Papel (34,8%), Insumos Não Metálicos (31,3%), Siderurgia (15,7%) e Demais Insumos Básicos (18,3%). Por fim, em termos de localização, a maior parte dos respondentes está na Região Sudeste (46,1%).

Tabela A1 - Caracterização do painel por porte, setor de atuação e localização – SP Insumos Básicos

	Tamanho	Tamanho % (total e com resposta)	
Grandes (mais de 500 empregados)	27	23,5%	45,0%
Médias (100-250 empregados)	21	18,3%	35,0%
Médias-grandes (250-500 empregados)	12	10,4%	20,0%
Sem resposta	55	47,8%	
Total geral	115	100,0%	
	Origem do capital	Origem do capital %	
Nacional	100	87,0%	
Demais nacionalidades	15	13,0%	
Total geral	115	100,0%	
	Principal setor	Principal setor %	
Celulose e papel	40	34,8%	
Insumos não metálicos	36	31,3%	
Siderurgia	18	15,7%	
Demais insumos básicos	21	18,3%	
Total geral	115	100,0%	
	Localização	Localização %	
Sudeste	53	46,1%	
Sul	33	28,7%	
Nordeste	21	18,3%	
Norte	5	4,3%	
Centro-Oeste	3	2,6%	
Total geral	115	100,0%	

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

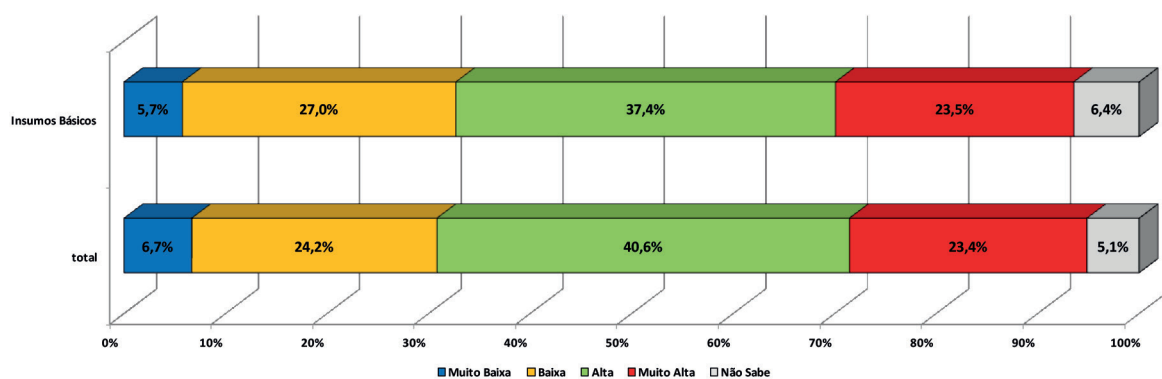
A2 Resultados

A2.1 Probabilidade de adoção das tecnologias

De acordo com as empresas do SP Insumos Básicos, a probabilidade de as tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes no setor de atuação do respondente no futuro (entre cinco a dez anos) é “Alta” ou “Muito Alta” para 60,9% dos respondentes, patamar inferior ao observado para o conjunto da indústria (64,0%), conforme mostra o Gráfico A1.

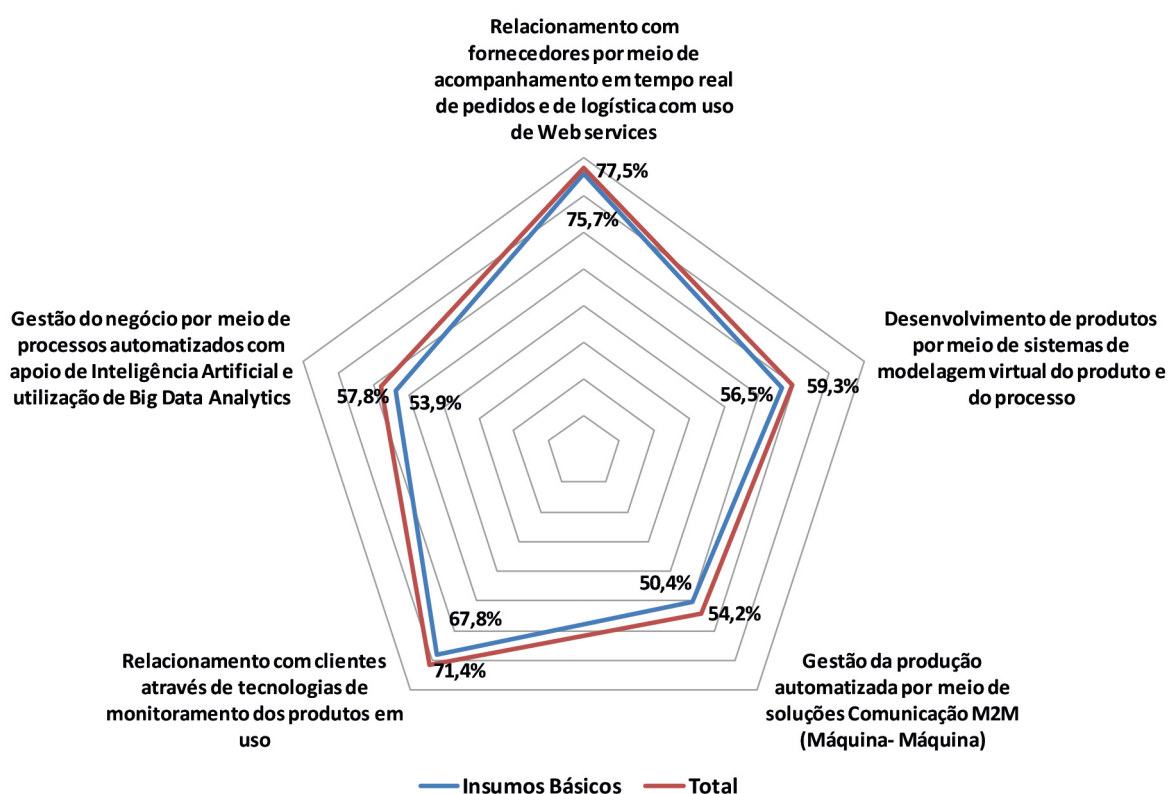
O Gráfico A2 detalha as expectativas do painel em termos da adoção das tecnologias 4.0 para as diferentes funções organizacionais enfocadas na pesquisa de campo. No SP Insumos Básicos, o percentual de respondentes que atribui probabilidade “Alta” ou “Muito Alta” é mais elevado no caso de Relacionamento com fornecedores, por meio de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de *web services* (75,7%); e de Relacionamento com clientes, por meio de tecnologias de monitoramento dos produtos em uso (71,4%) – reproduzindo, assim, as expectativas assinaladas pelo conjunto da indústria. Nas diversas funções, observa-se uma tendência à menor probabilidade de difusão de tecnologias da geração digital 4.0 no setor, comparativamente à média geral.

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 Insumos Básicos e total da indústria



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

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 Insumos Básicos e total da indústria

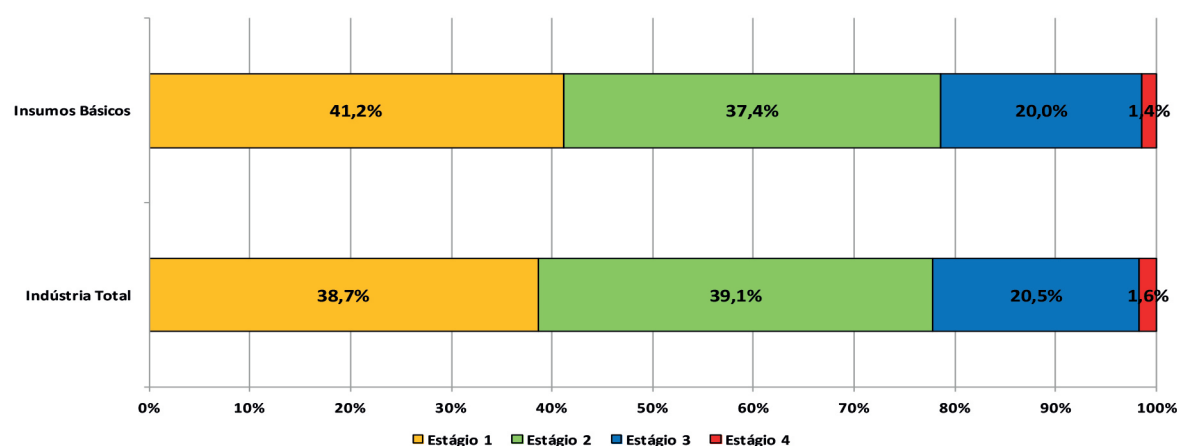


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.2 Gerações digitais dos respondentes hoje

Dada a alta probabilidade de difusão das tecnologias mais avançadas esperada pelas empresas, a análise da geração tecnológica em que as empresas se posicionam hoje ganha particular interesse. No caso do SP Insumos Básicos, conforme Gráfico A3, apenas 1,4% do painel indicaram estar na geração digital 4, percentual abaixo do registrado para o conjunto da indústria (1,6%). Tomando-se em conjunto os que se consideram nas gerações 3 e 4, esse percentual atinge 21,4% no SP Insumos Básicos, valor abaixo da média geral (22,2%).

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



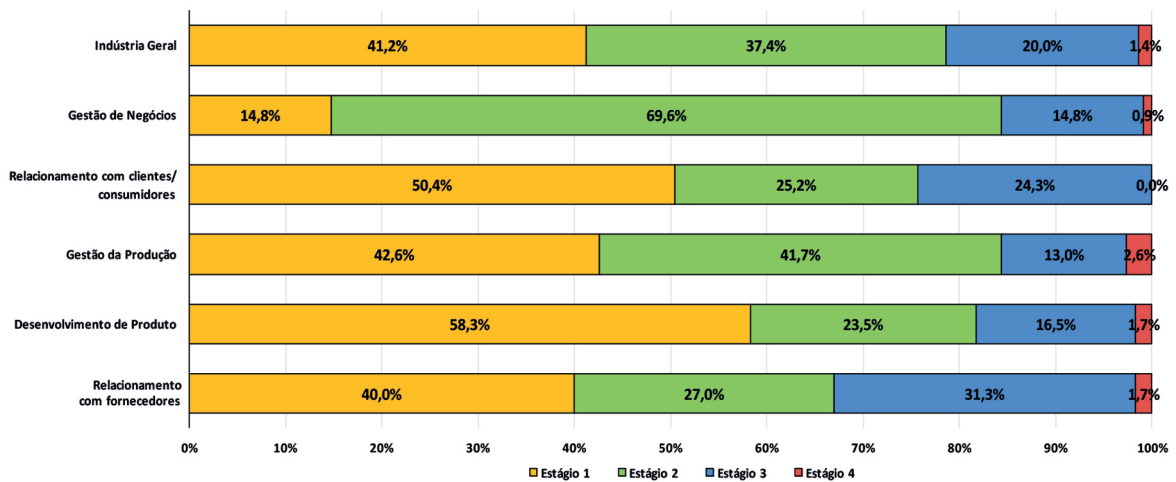
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.3 Gerações tecnológicas de acordo com função empresarial

Com relação às funções empresariais, observa-se que o estágio mais avançado das tecnologias digitais está nas funções de Gestão da Produção (adotadas por 2,6% dos respondentes), Relacionamento com fornecedores e de Desenvolvimento de Produto (adotadas por 1,7% das empresas), conforme ilustrado pelos Gráficos A4 e A5. Observa-se também que 33% das empresas adotam hoje tecnologias das gerações 3 e 4 na função de Relacionamento com fornecedores e 24,3% na função de Relacionamento com clientes/consumidores, percentual superior ao indicado para as demais funções. Como destaques negativos há as taxas de adoção de tecnologias das gerações 3 e 4 nas funções de Gestão da Produção e de Gestão de Negócios, com 15,7% dos respondentes.

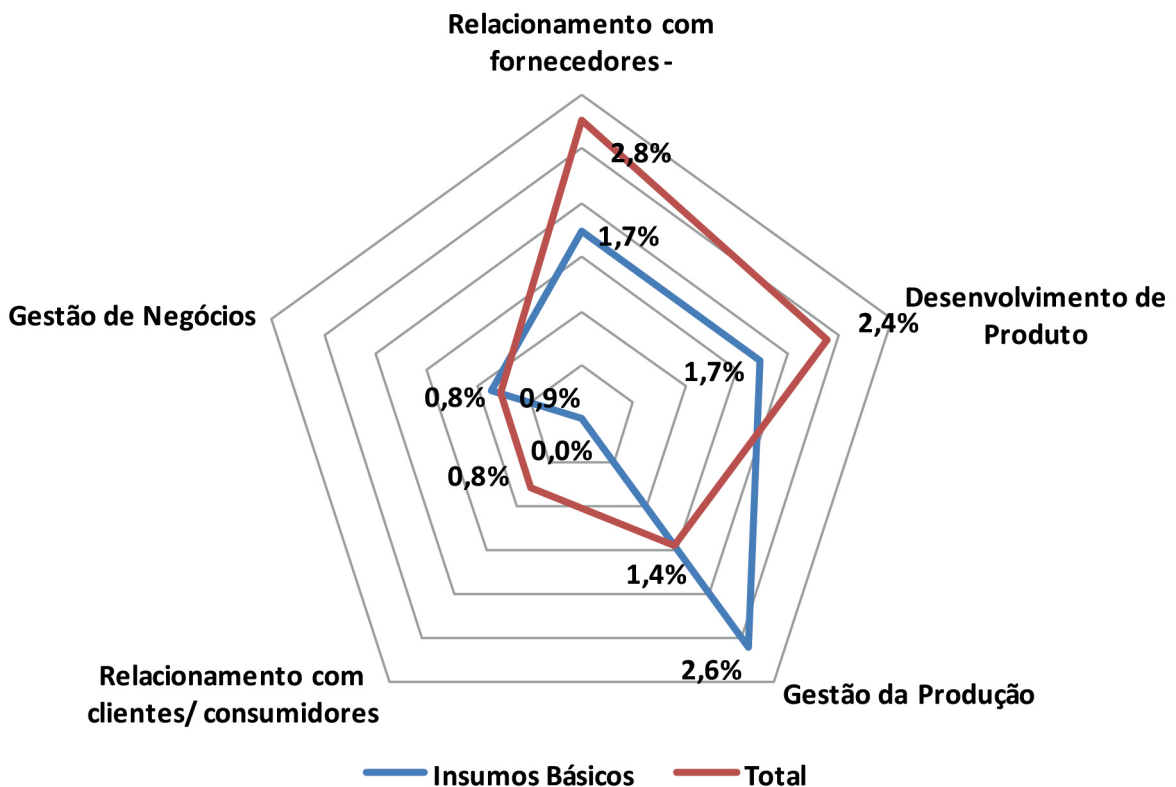
Essa análise pode ser mais bem qualificada por meio da comparação do SP Insumos Básicos com o total da indústria, como feito no Gráfico A3. Observa-se uma tendência à difusão menos intensa dessas tecnologias no SP Insumos Básicos, em especial na função de Relacionamento com clientes (0,0% contra 0,8%). Uma exceção é a função de Gestão da Produção, na qual o percentual no setor (2,6%) é expressivamente superior à média geral.

Gráfico A4 – Distribuição dos respondentes segundo gerações digitais, hoje, funções (%) – SP Insumos Básicos



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

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



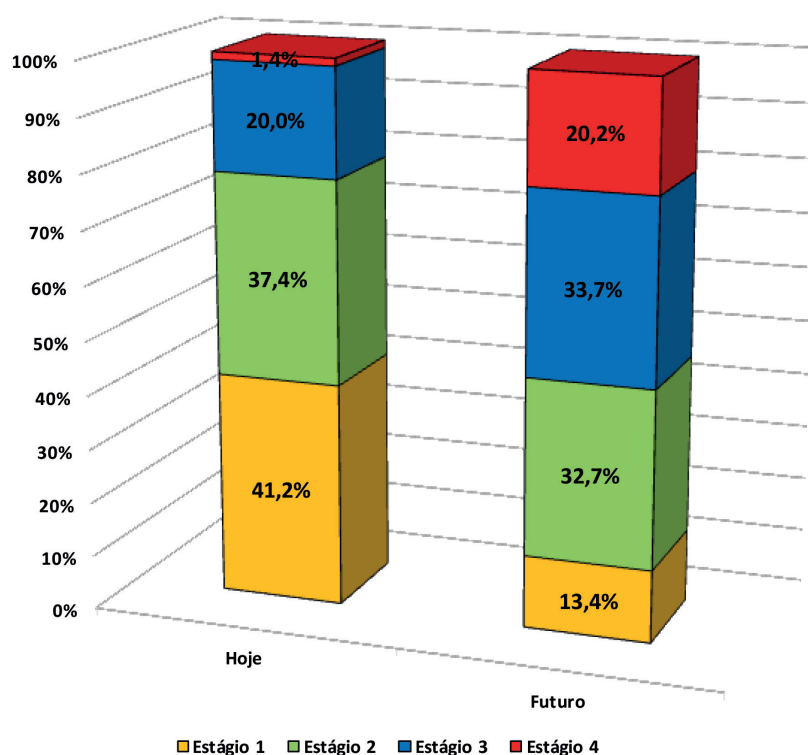
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.4 Expectativas de adoção para 2027

Uma vez constatada a baixa difusão atual, cabe avaliar qual a expectativa das empresas acerca da difusão futura das tecnologias 4.0. Nesse sentido, o Gráfico A6 apresenta essas informações para um horizonte futuro de dez anos, que utiliza como referência o ano de 2027. No caso da geração 4 observa-se um crescimento significativo da intensidade dessa difusão, com uma expectativa de que a mesma evolua de 1,4% para 20,2% das empresas do painel entre 2017 e 2027.

Além disso, o percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 20,0% em 2017 para 33,7% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 21,4% em 2017 para 53,9% em 2027, correspondendo a um crescimento de 152% naquela participação.

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



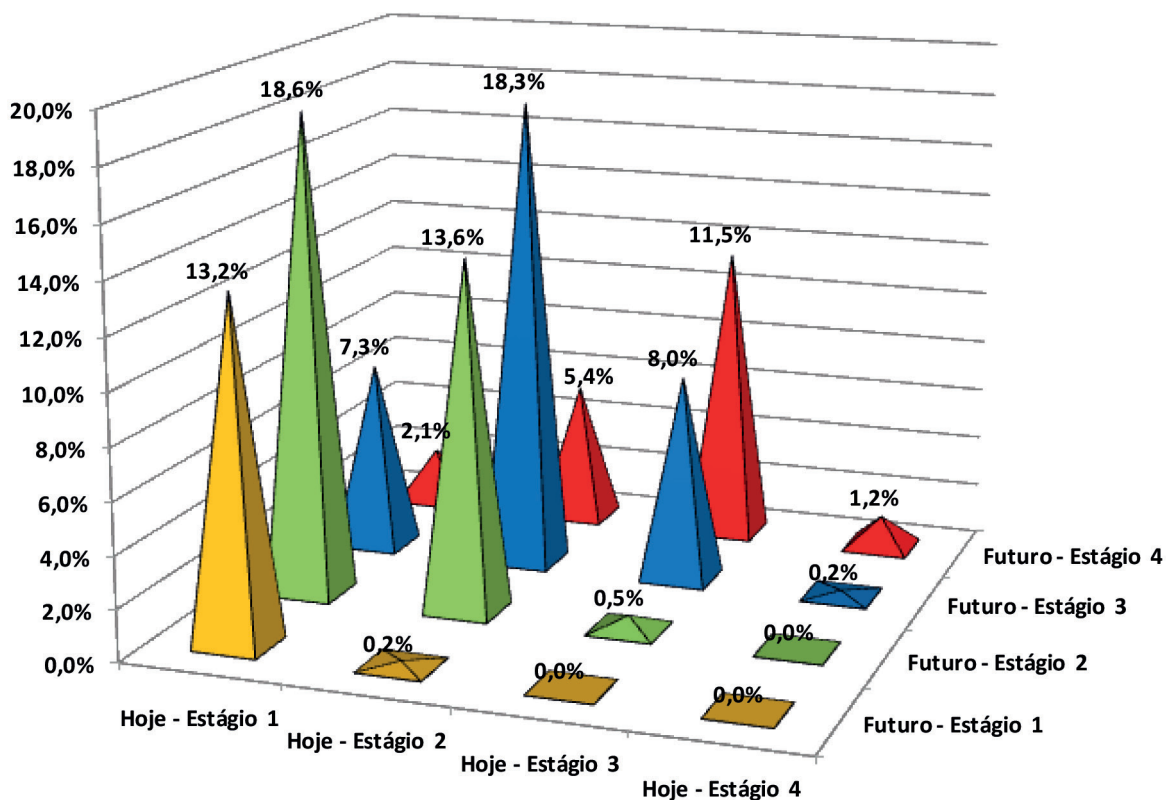
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

Alternativamente, pode-se analisar a evolução do SP Insumos Básicos ao longo do período considerado por meio da “migração” das empresas entre as diferentes gerações tecnológicas, conforme ilustrado pelo Gráfico A7. No caso de 41,2% do total

de empresas localizadas na geração 1 em 2017, a perspectiva seria de que 13,2% permanecessem naquele estágio em 2027; 18,6% avançassem para a geração 2; 7,3% avançassem para a geração 3; e 2,1% avançassem para a geração 4 (o que, nesse último caso, parece um pouco improvável).

No caso de 37,4% do total de empresas localizadas na geração 2 em 2017, a perspectiva seria de que 13,6% permanecessem naquele estágio em 2027; 18,3% avançassem para a geração 3; e 5,4% avançassem para a geração 4. Por fim, no caso de 18,3% do total de empresas localizadas na geração 3 em 2017, a perspectiva seria de que 8% permanecessem naquele estágio em 2027 e 11,5% avançassem para a geração 4.

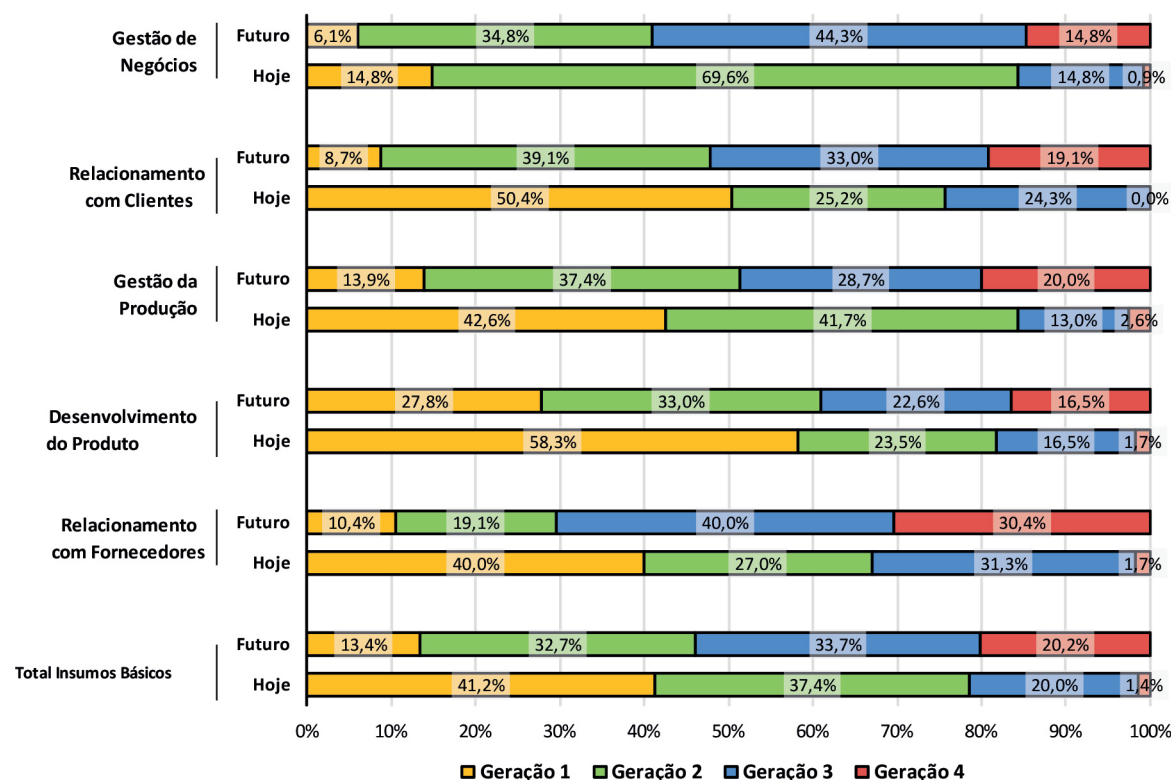
Gráfico A7 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP Insumos Básicos



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, conforme ilustrado pelo Gráfico A8. As particularidades encontradas para o SP Insumos Básicos 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 Insumos Básicos



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 expectativa de que a mesma evolua de 1,7% para 30,4% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual localizado na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 31,3% em 2017 para 40% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 33,0% em 2017 para 70,4% em 2027, correspondendo a um crescimento de 113% naquela participação.

Desenvolvimento de produtos

A expectativa é de crescimento da taxa de difusão das tecnologias da geração 4 de 1,7% para 16,5% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 16,5% em 2017 para 22,6% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 18,3% em 2017 para 39,1% em 2027, correspondendo a um crescimento de 114% naquela participação.

Gestão da produção

A intensidade da difusão associada à geração 4 deverá expandir-se de 2,6% para 20% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 13% em 2017 para 28,7% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 15,7% em 2017 para 48,7% em 2027, correspondendo a um crescimento de 211% naquela participação.

Relacionamento com clientes e consumidores

Espera-se que a intensidade da difusão associada à Geração 4 evolua de 0,0% para 19,1% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 24,3% em 2017 para 33% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 24,3% em 2017 para 52,2% em 2027, correspondendo a um crescimento de 114% naquela participação.

Gestão de negócios

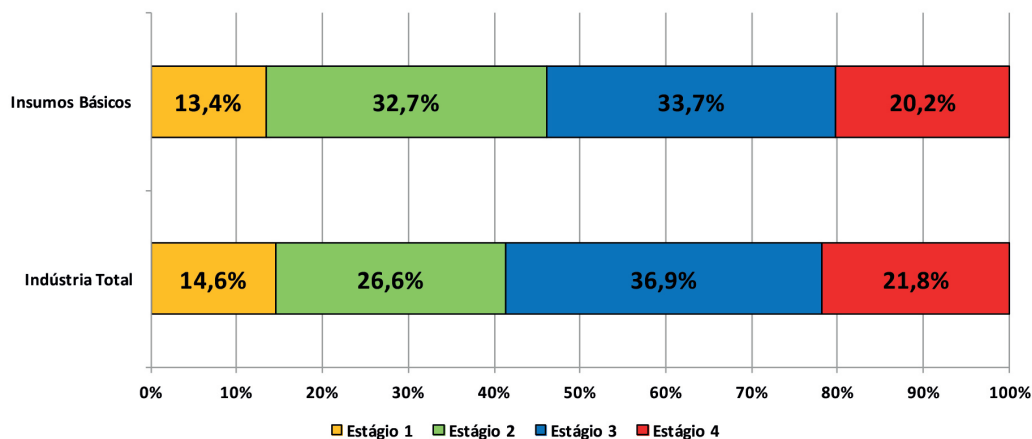
A intensidade da difusão associada à geração 4 deve crescer de 0,9% para 14,8% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 14,8% em 2017 para 44,3% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 15,7% em 2017 para 59,1% em 2027, correspondendo a um crescimento de 278% naquela participação.

A2.5 Difusão futura – comparação entre funções

É possível também comparar a expectativa de difusão futura de tecnologias digitais no SP Insumos Básicos com as evidências para 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 de Insumos Básicos, verifica-se que 20,2% das empresas tinham expectativa de atingir a geração 4 – percentual abaixo do total geral do painel (21,8%). Quando se considera o percentual conjunto das gerações 3 e 4, esse percentual atinge 53,9% no sistema produtivo de Insumos Básicos, percentual também inferior à média geral (58,7%).

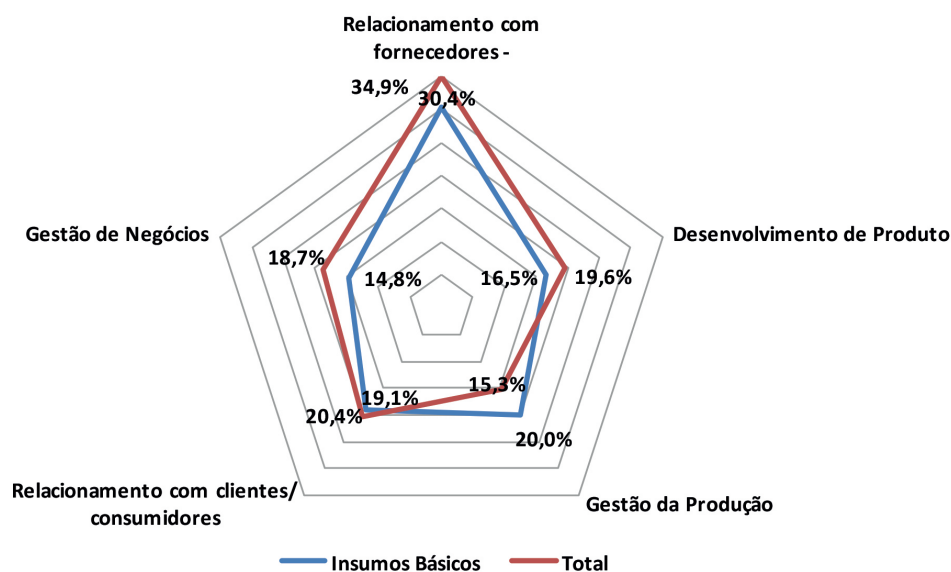
Gráfico A9 – Distribuição dos respondentes segundo expectativa de posicionamento futuro nas gerações tecnológicas, em % do número de empresas – SP Insumos Básicos e total da indústria



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

No caso da expectativa de adoção futura das tecnologias digitais nas diferentes funções empresariais, os maiores níveis para as tecnologias da geração 4 são esperados na função de Relacionamento com fornecedores (30,4%) e Gestão de negócios (20,0%). Em termos comparativos, observa-se, em geral, uma expectativa menor de difusão em relação à média geral, com exceção da Gestão da produção, onde ocorreria o inverso, 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 Insumos Básicos 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

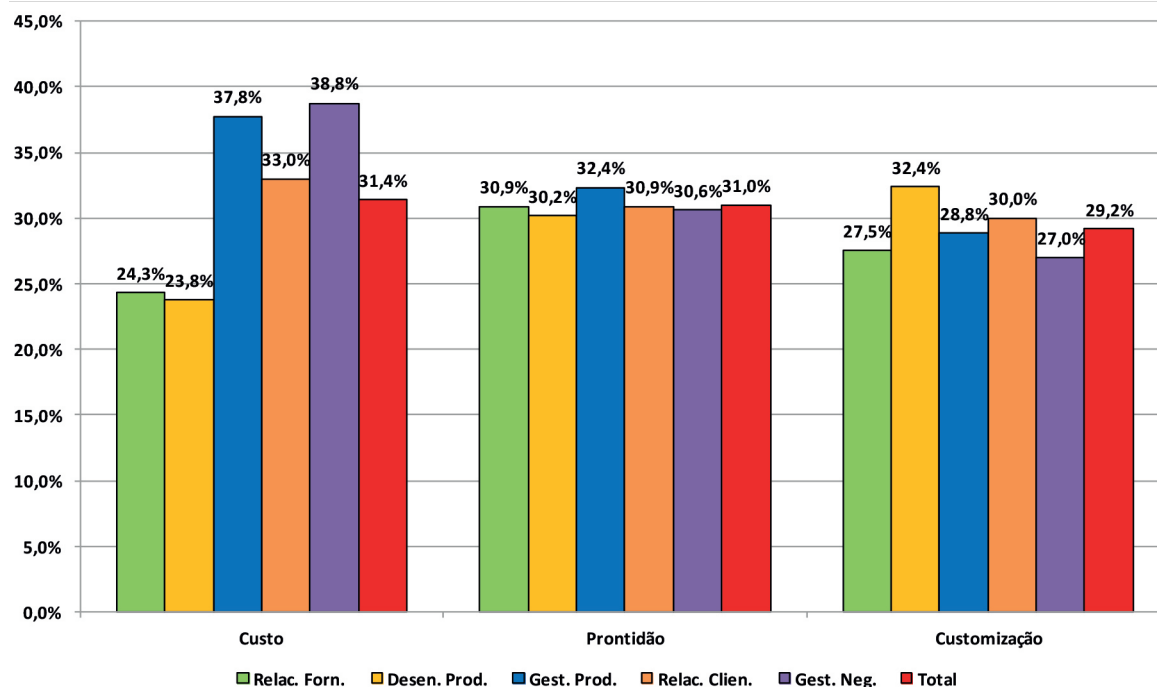
Um dos aspectos contemplados na pesquisa de campo que influencia diretamente a adoção de inovações disruptivas pela indústria brasileira refere-se aos impactos atuais e esperados da adoção dessas tecnologias sobre a competitividade, a partir da consideração de determinados atributos competitivos.

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 pouca diferenciação entre os percentuais de empresas que apontaram um alto impacto para os três atributos considerados, apesar de esse percentual apresentar-se um pouco superior no impacto associado ao atributo “custo”, com os atributos de “prontidão” e “customização” posicionando-se em sequência.

Já as informações desagregadas para as diferentes funções organizacionais revelam alguns impactos diferenciados. Na média, os maiores impactos são observados nas áreas Gestão de negócios e Gestão da produção, com ênfase no atributo “custo”. Já no caso do Desenvolvimento de produto, destaca-se o alto impacto associado ao atributo “customização”, enquanto no caso do Relacionamento com fornecedores, observa-se um maior percentual de alto impacto associado ao atributo “prontidão”.

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 Insumos Básicos



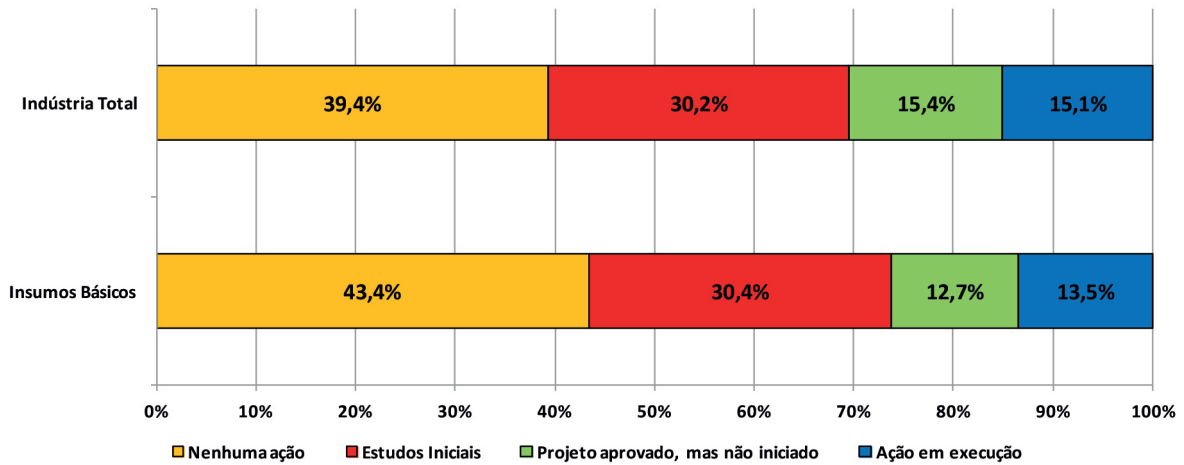
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

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 da geração 4.0 nas atividades das empresas é ainda bastante limitada.

Para o SP Insumos Básicos, considerando a composição das diversas funções organizacionais, o percentual de empresas com ações efetivamente em execução atingia 13,5%; por outro lado, se forem consideradas também as empresas com projeto aprovado, mas não iniciado, esse percentual se eleva para 26,2%. Em ambos os casos, os percentuais observados no SP Insumos Básicos foram inferiores aos registrados para o conjunto do painel (15,1% e 30,5%, respectivamente).

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

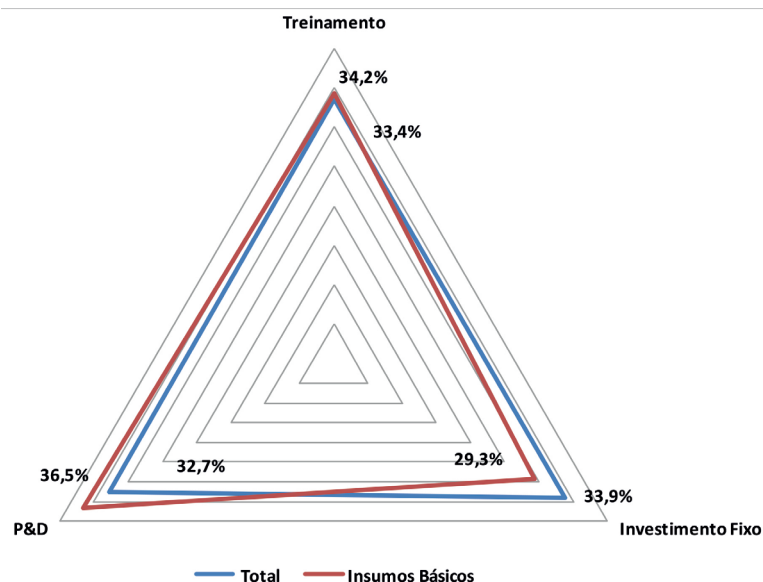


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

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

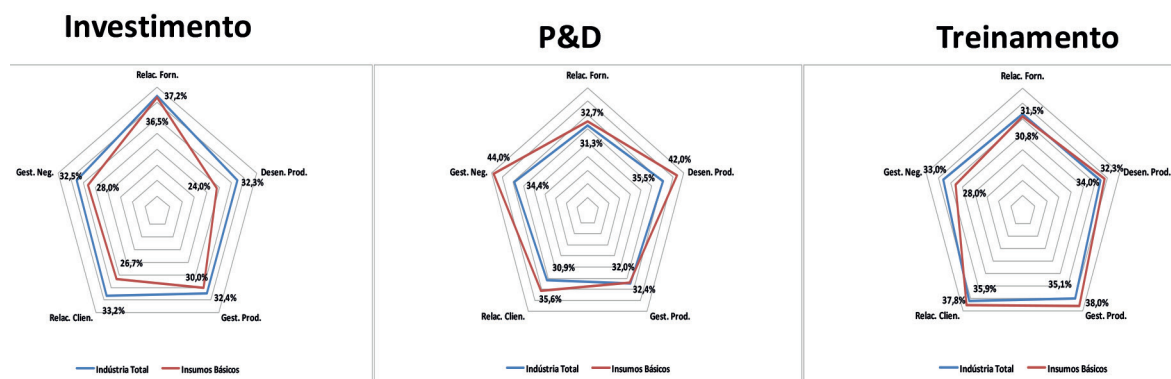
Quando se faz o detalhamento por função empresarial (Gráfico A14), verifica-se no SP Insumos Básicos que o percentual de empresas com ações em execução é maior no caso de P&D nas funções de gestão de negócios e de desenvolvimento de produto, destacando-se também as ações na área de treinamento na função de gestão da produção.

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



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

Gráfico A14 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0 – SP Insumos Básicos e total da indústria



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

Essas 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 4.0 extremamente reduzida. Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, que pode estar fundamentada em estímulos da dinâmica competitiva setorial e na possibilidade de geração de impactos efetivos sobre diferentes atributos determinantes da competitividade.

As evidências indicam que essas inovações podem ser implementadas em áreas distintas da empresa, num ritmo diferenciado, e que, eventualmente, podem surgir mecanismos de retroalimentação entre diversas funções organizacionais, capazes de gerar uma aceleração geral do ritmo de difusão.

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 Cumaru 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

Germano Mendes de Paula
Autor

Luciano Coutinho
João Carlos Ferraz
David Kupfer
Mariano Laplane
Luiz Antonio Elias
Caetano Penna
Fernanda Ultremare
Giovanna Gielfi
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