



**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo

TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO - TIC



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
TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)

FOCOS SETORIAIS
Microeletrônica, equipamentos e sistemas
de telecomunicação e *software*

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

TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)

©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 tecnologias de informação e comunicação/
Instituto Euvaldo Lodi, Paulo Bastos Tigre, Emanuel Querette, Alessandro Pinheiro,
Sérgio Bampi. -- Brasília: IEL/NC, 2018.

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

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

CDU: 621.39

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 ECONÔMICA	19
1.1 Delimitação do sistema produtivo e focos setoriais.....	19
1.2 Panorama internacional	21
1.3 Panorama no Brasil	54
2 OS CLUSTERS TECNOLÓGICOS RELEVANTES	73
2.1 Identificação das tecnologias relevantes	73
2.2 Experiência internacional	77
2.3 Experiência brasileira	88
2.4 Conclusões	97
3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL	101
3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais no sistema TIC	101
3.2 Desafios do sistema TIC-Brasil e respectivos focos	102
3.3 Implicações e síntese dos desafios para o desenvolvimento do setor de TIC no Brasil	109
REFERÊNCIAS	113
ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP TIC	121
A1 Caracterização do painel de respondentes	121
A2 Resultados.....	124
A3 Considerações finais	138



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 rápido avanço da internet e de outras inovações gera impacto direto nas tecnologias da informação e da comunicação (TICs) – com foco em microeletrônica, equipamentos e sistemas de telecomunicação e *software*. Além de dados gerais sobre esse sistema produtivo, este documento traz resultados sobre o uso atual e esperado das tecnologias digitais no setor.

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 e Sistemas Produtivos e, nestes últimos, Focos Setoriais (Quadro A1). Os *Clusters* Tecnológicos compreendem um conjunto de tecnologias-chave agrupadas por proximidade tecnológica e de bases de conhecimento envolvidas. Os Sistemas Produtivos correspondem a grupos de setores industriais selecionados pela sua participação na estrutura industrial brasileira. Os principais critérios para identificação dos Focos Setoriais foram o potencial de impactos disruptivos a serem aportados pelas novas tecnologias e a relevância do setor em termos de geração de produto, empregos, exportações e inovação.

Quadro A1 – Clusters Tecnológicos, Sistemas Produtivos e Focos Setoriais



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

Sistemas Produtivos	Focos Setoriais
Agroindústrias	Alimentos Processados
Insumos Básicos	Siderurgia
Química	Química verde
Petróleo e Gás	E&P em Águas Profundas
Bens de Capital	Máquinas e Implementos Agrícolas, Máquinas Ferramenta, Motores Elétricos e Outros Seriados, Equipamentos de GTD
Complexo Automotivo	Veículos Leves
Aeroespacial, Defesa	Aeronáutica
TICs	Sistemas e Equipamentos de Telecom Microeletrônica <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) essas reflexões serviram como insumo para a segunda etapa, quando especialistas setoriais avaliaram o processo de geração, absorção e difusão destas tecnologias em Sistemas e Focos Setoriais e seus impactos sobre a competitividade empresarial; (iii) as análises de *Clusters* e de 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 apresentar mudanças em Sistemas Produtivos, alterando modelos de negócios, padrões de concorrência e a atual configuração de posições de liderança das empresas. Neste horizonte temporal, essas tecnologias podem constituir ameaças e oportunidades para empresas estabelecidas ou novas empresas e mesmo implicar o surgimento de novos segmentos de mercado.

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

Questões orientadoras das análises de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais

Os estudos de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais foram ancorados no conhecimento de especialistas, em estudos recentes feitos por centros de investigação e empresas de consultoria, em entrevistas qualitativas e, em alguns casos, quantitativas, junto a empresas e em uma pesquisa de campo 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 destas 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 as 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 riscos que as inovações disruptivas podem representar?



RESUMO EXECUTIVO

No plano internacional observa-se um processo de inovações disruptivas nas tecnologias da informação e comunicação (TIC), desencadeado pela interligação de tecnologias que vinham se desenvolvendo há várias décadas de forma paralela, mas que atualmente dispõem de fortes sinergias para deflagrar, em conjunto, inovações radicais.

Os avanços rápidos na Internet, impulsionados pela IoT, vêm permitindo que tecnologias como *big data* e *data analytics*, inteligência artificial, robôs e sistemas com capacidades cognitivas próprias, realidade virtual, processadores de alto desempenho e redes avançadas de comunicações sejam desenvolvidas e aplicadas na reconfiguração dos modelos de negócios e das formas de articulação dos agentes econômicos. Plataformas vêm se configurando como a base tecnológica preferencial para disponibilizar produtos e serviços de TIC para empresas e pessoas, agrupando diferentes tipos de produtores de conteúdo. Competir em apenas uma etapa ou camada sem estar inserido em plataformas integradas pode representar um alto risco para as empresas independentes.

O mercado de soluções para desenvolver negócios por meio das TIC deverá ganhar nos próximos dez anos densidade, diversidade e grande escala, à medida que se expande a IoT. A indústria de TIC é diretamente afetada por tais transformações pelo fato de ser, ao mesmo tempo, pioneira no uso de tecnologias emergentes e núcleo gerador de inovações críticas para o resto da economia. Muitas empresas líderes têm deliberadamente lucro zero ou mesmo prejuízos em *hardware* ou *software*, visando a capturar usuários e transferir receitas para a lucrativa área de serviços digitais. Essas práticas de subsídio cruzado devem ser supervisionadas pelas autoridades de regulação de concorrência para evitar condutas monopolísticas.

A produção de **hardware**, que é altamente automatizada e intensiva em bens de capital sofisticados, vem se tornando uma atividade muito especializada e, em grande parte, terceirizada. Apenas empresas que operam globalmente e desfrutam de ambiente institucional favorável conseguem subsistir de modo verticalmente integrado.

O setor global de **semicondutores**, cuja manufatura se encontra concentrada na Ásia, aumentou muito, na última década, a intensidade de capital (principalmente nos segmentos fabris de *wafers* e de encapsulamento de *chips*), bem como a intensidade de P&D no setor. O quadro brasileiro é heterogêneo, revelando tanto atividades de manufatura enfrentando grandes dificuldades para se sustentar quanto o surgimento de poucas empresas inovadoras que logram explorar o potencial dessas tecnologias para gerar valor.

Em relação à oferta de **hardware** em geral, observa-se um declínio tanto da produção quanto da participação dos produtos montados no Brasil. Tal declínio é apenas parcialmente resultante da recessão econômica de 2014-17, que afetou o investimento e o consumo no país. Efetivamente, fatores de caráter estrutural explicam os problemas enfrentados pela indústria brasileira:

- A queda global da participação relativa, em valor, das atividades de fabricação de *hardware* contraposta à expansão dos serviços de telecomunicações, novos serviços digitais e respectivos *softwares*.
- A tendência ao acirramento da concorrência e de concentração da produção de componentes e montagem de bens finais de *hardware* na Ásia.
- As poucas vantagens logísticas e operacionais do Brasil e a rarefação da inovação efetivamente realizada no país.

A indústria mundial de **equipamentos e sistemas de telecomunicações**, por exemplo, atravessa um processo de transformação nos moldes acima:

- Transição para modelos de negócios mais intensivos em *software* e serviços.
- Redução de barreiras à entrada.
- Redução das margens de lucro pelo acirramento da competição entre operadoras de telefonia e serviços de telecomunicações.
- No Brasil, aumento da importação de produtos prontos, em detrimento da produção no país.

Mais do que produzir componentes isolados, o futuro das empresas brasileiras de TIC reside na capacidade de desenvolver *design* de projetos visando integrar diferentes componentes de *hardware*, de *software* e de serviços em sistemas ou soluções customizadas.

Diferentemente do constatado para a produção de *hardware*, o segmento de *software* e serviços no país apresenta vigor. Registrou, nos últimos anos, taxas de crescimento positivas, acima da economia como um todo, e apresenta taxa satisfatória de inovação. Em termos de faturamento, o mercado brasileiro de *software* e serviços ocupou a nona posição mundial em 2016. Cumpre, porém, ressaltar que 75% do *software*-produto transacionado no mercado doméstico é desenvolvido no exterior. De outro lado, o desenvolvimento e a prestação dos serviços associados a TI são predominantemente domésticos (ABES, 2017), sinalizando oportunidades para firmas locais.

O desenvolvimento da IoT no Brasil abrirá oportunidades mais expressivas para as TIC. A principal delas reside no desenvolvimento de soluções inovadoras baseadas em *softwares* e/ou em *softwares* embarcados em componentes integrados em *chips* ou em *systems-on-chips*.

Com relação à indústria brasileira de equipamentos e sistemas de telecomunicações, a competitividade internacional é baixa, devido ao elevado custo de componentes importados, à baixa escala produtiva e aos custos operacionais e logísticos elevados. No entanto, o mercado potencial interno se apresenta como oportunidade para fabricantes instalados no Brasil.

A capacidade de atender à demanda por inovação das empresas usuárias, desenhar e integrar soluções combinando componentes locais e importados constitui a capacitação crítica para a indústria local. O estímulo à contratação de *design* e projetos de sistemas e soluções no país é condição-chave para gerar uma cadeia virtuosa de desenvolvimento de componentes, *software* e serviços digitais. Trata-se

de uma relação *pull*, diferente da prática histórica na qual os equipamentos eram projetados e produzidos em massa para depois buscarem mercado.

O domínio tecnológico das soluções inovadoras passa pelo processo de *design* e concepção no país. Isso requer o fortalecimento das bases nacionais de engenharia de *design* de produtos, sistemas, componentes e *softwares*, por meio de políticas de estímulo à demanda por soluções digitais – seja por parte das empresas usuárias e/ou por meio por meio de contratos públicos que enderecem demandas de relevante interesse social.

A Lei de Informática tem sido capaz de evitar o fechamento das operações fabris de grandes empresas instaladas no país, mas é preciso avaliar melhor o impacto dessas medidas na geração de conhecimento e inovação própria, visando a torná-las mais eficientes. Em vigor há quase três décadas, a lei deixou de produzir resultados satisfatórios e precisa ser aperfeiçoada para fortalecer a P&D, a inovação e a difusão de novas tecnologias na economia brasileira.

Além das transformações nos modelos de negócios e estratégias competitivas das empresas, o processo de servitização e o crescimento de produtos associados a serviços sublinha a necessidade de uma política industrial de que atenda mais efetivamente às peculiaridades da inovação em serviços. Desafios como a segurança da informação e a proteção de dados pessoais – *cybersecurity* e proteção da privacidade – já estão sendo tratados por legislações específicas (Marco Civil da Internet, Código de Defesa do Consumidor) ou são motivos de discussão legislativa, como os projetos para a criação de uma Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais.

A interoperabilidade é um fator crítico para a difusão da IoT e a participação das empresas locais nas redes globais de TIC. Para isso, as políticas públicas devem facilitar a participação de empresas, instituições de pesquisa e associações industriais em organizações nacionais e globais relevantes para o desenvolvimento e a adoção de padrões técnicos.

Na área de infraestrutura e sistemas de telecomunicações e sistemas de energia, é necessário garantir a qualidade e interoperabilidade das redes para interconectar servidores, equipamentos de rede, sensores e dispositivos diversos entre si e com a Internet.

A formação e a retenção de recursos humanos e o desenvolvimento de competências é fator crítico de sucesso para a participação brasileira na revolução tecnológica em curso, especialmente em vista do elevado déficit de engenheiros e profissionais de TIC no país.

Por fim, cabe ressaltar que o fomento e o financiamento à inovação constituem um gargalo à difusão de TIC, diante da incerteza e da complexidade características de uma transição tecnológica e industrial. É necessário que haja uma política firme de longo prazo, dotada de escala suficiente de recursos, com fluxo regular e foco na demanda empresarial, apoiando ecossistemas de P&D que direcionem instituições de pesquisa para as necessidades das empresas.



INTRODUÇÃO

Esse documento apresenta o panorama internacional e brasileiro do sistema produtivo TIC e dos seus focos setoriais em microeletrônica, equipamentos e sistemas de telecomunicação e *software*. No plano internacional, são analisadas as características morfológicas, tendências tecnológicas, padrão e velocidade de geração e difusão de tecnologias disruptivas e seus impactos sobre as estruturas de mercado, os padrões de concorrência e os modelos de negócios, assim como experiências relevantes de políticas públicas, marcos regulatórios e de fomento ao sistema. Na perspectiva nacional, são analisadas a importância econômica, as estruturas de mercado e as estratégias competitivas predominantes, e é caracterizado o estágio tecnológico das empresas do sistema produtivo TIC e dos Focos Setoriais.

A análise do sistema produtivo TIC abrange os segmentos de dispositivos de acesso (PC e *smartphones*), *displays* e computadores de alto desempenho. Serão abordados de forma mais aprofundada os segmentos de microeletrônica, *software* e equipamentos e sistemas de telecomunicações. O objetivo da análise do sistema TIC é apontar as principais tendências econômicas e tecnológicas no plano nacional e internacional, os processos de geração e difusão de inovações disruptivas e seus determinantes e impactos. Também serão delineadas eventuais estratégias públicas pertinentes para fortalecer a capacidade de resposta dos sistemas empresarial, de pesquisa e formação profissional no Brasil. O documento ainda levanta alguns desafios institucionais e sistêmicos relacionados às novas tecnologias disruptivas, especialmente da IoT, e correspondentes ameaças e oportunidades para a produção de TIC no Brasil.



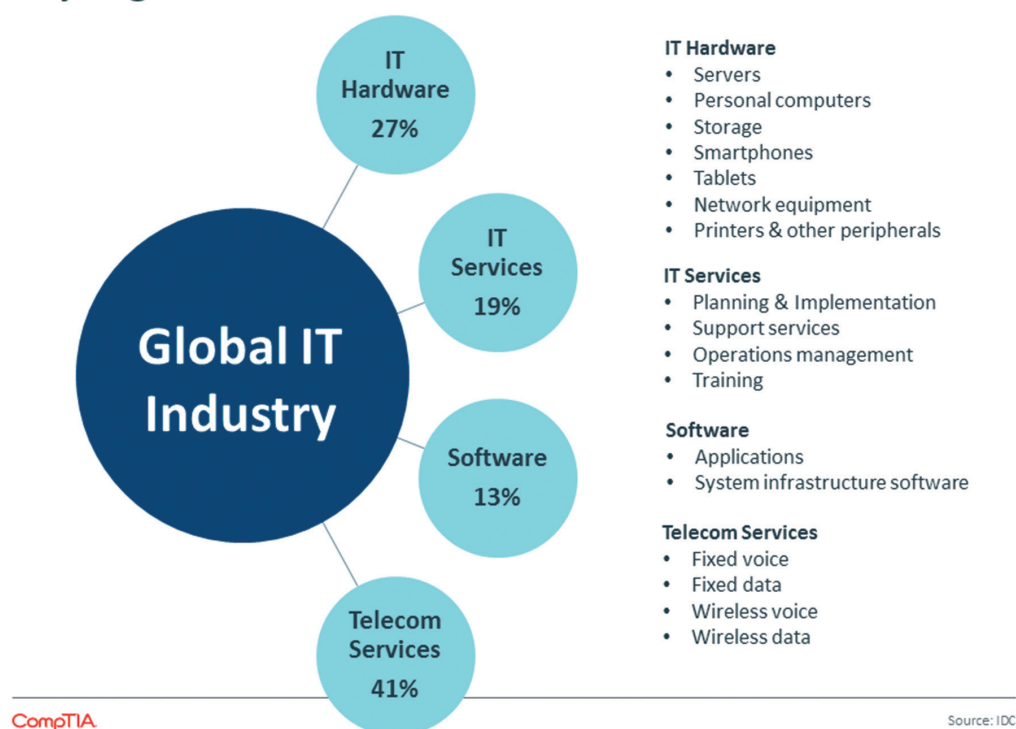
1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA

1.1 Delimitação do sistema produtivo e focos setoriais

O sistema TIC é tradicionalmente subdividido nos segmentos de *hardware* (equipamentos e componentes), *software* (programas e aplicativos de computação), serviços operacionais e de suporte e serviços de telecomunicações, conforme se vê na Figura 1, totalizando um faturamento global estimado em US\$ 3,8 trilhões em 2016. Em 2017, estima-se crescimento anual de 5%, sendo otimistas as expectativas para 2018.

Figura 1 – Principais segmentos do mercado global de TIC

Key Segments of the Global IT Market



Fonte: IDC (2017c).

Segundo o IDC, os serviços de telecomunicações dominam o mercado de TIC, seguidos pelo segmento de *hardware*. Entretanto, essa segmentação vem perdendo sentido em razão da crescente integração entre tecnologias, equipamentos, *softwares* e serviços.

Os Estados Unidos representam o principal mercado de TIC, com 31% do total, mas tendem a ser ultrapassados pela Ásia, que cresce mais rapidamente e já respondia, em 2016, por 29%. A Europa detinha 24%, a América Latina 9% e a África 7%.

A relevância do SP TIC pode ser avaliada pelo seu peso econômico, equivalente a 5% do PIB global e a cerca de 9% do valor econômico agregado global. Pode também ser ilustrada pela importância das suas empresas nas economias dos Estados Unidos, Alemanha e Ásia e nos respectivos mercados de capitais: Amazon, Apple, Alphabet (*holding* da Google), Microsoft, Facebook, Intel, Samsung, Toshiba, LG, Huawei, Alibaba, Tencent, IBM, Siemens, Ericsson, Qualcomm, Cisco, SAP.

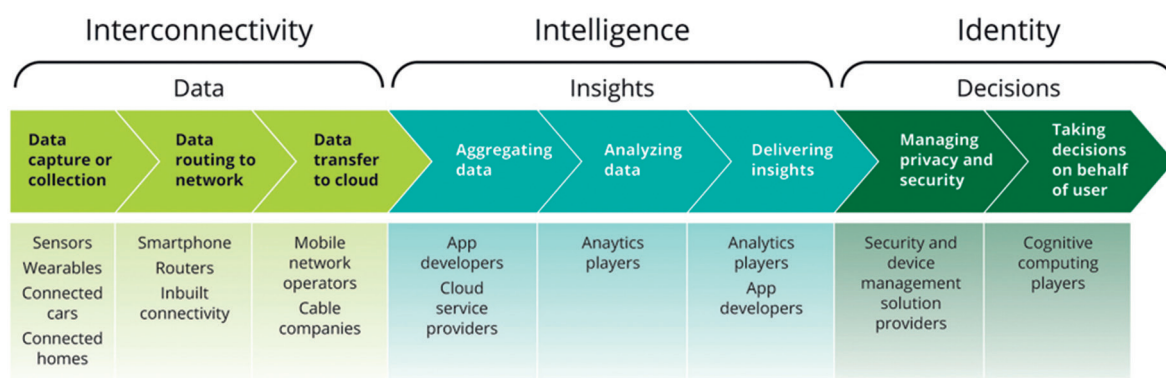
A indústria de equipamentos de computação e/ou de acesso à Internet via redes de comunicações pode ser segmentada nos seguintes produtos: computadores pessoais, servidores e computadores de alto desempenho, tablets, *smartphones*. Também conectados à Internet estão os equipamentos de entretenimento, como TVs e aparelhos digitais de áudio e de jogos. Esses dois conjuntos de equipamentos, por sua vez, estão baseados em *displays* e em várias famílias de componentes microeletrônicos integrados e componentes discretos, nos quais estão entranhados *softwares* operacionais, essenciais ao seu funcionamento. Esses *softwares* embutem códigos-fonte, protocolos e padrões técnicos de acesso e identificação, a qual é propiciada por ondas de radiofrequência mediante *chips* dotados de *radio-frequency identification* (RFID).

As redes de telecomunicações e a Internet, por sua vez, são suportadas por equipamentos de comutação (computadores dedicados), servidores dedicados à computação e ao armazenamento em nuvem, roteadores, estações rádio-base, cabos de fibras ópticas, antenas, estações e equipamentos de repetição de sinais, satélites e outros dispositivos auxiliares. Tais equipamentos dependem de componentes microeletrônicos, ópticos, fotônicos e de respectivos *softwares* operacionais.

O setor de *software*, além de ser parte intrínseca aos equipamentos e componentes citados, também é elemento essencial às arquiteturas que integram ou estruturam sistemas e plataformas que compreendem conjuntos ou subconjuntos de equipamentos. O progresso da IoT multiplicará a necessidade de concepção, *design* e desenvolvimento da engenharia desses sistemas e/ou plataformas e ampliará a necessidade de integrar de modo inovador suas diferentes camadas (do componente ao *software* e desse aos serviços finais). O avanço da IoT também demandará a criação e a produção de novos equipamentos, como componentes microeletrônicos, sensores, atuadores, RFID, sistemas microeletromecânicos ou MEM, *gateways* e outros equipamentos correlatos, com seus respectivos *softwares* operacionais desenhados em torno de uma plataforma sistêmica.

A grande capacidade de geração de dados e seu armazenamento a partir da IoT intensificará a demanda sobre os sistemas de nuvem, reforçando a demanda sobre *data centers*, respectivos equipamentos e *softwares*. A Figura 2 descreve os papéis de diferentes atores ao longo da cadeia de coleta de dados e informações, armazenamento, análise e otimização de decisões. Na base da figura são identificados os equipamentos, os *softwares* e os serviços correlacionados a tais atores e papéis.

Figura 2 – Ecosistema IoT: dos dados às decisões



Source: Deloitte analysis.¹⁴

Graphic: Deloitte University Press | DUPress.com

Fonte: Deloitte (2017).

O setor de *software*, portanto, abrangerá um crescente número de aplicativos, que agregarão novos usos, funcionalidades e capacidades aos equipamentos. Há ainda os serviços de *software*, ou seja, relacionados à manutenção, ao uso, à gestão e ao aperfeiçoamento dos sistemas existentes. A capacidade crescente de armazenamento de dados com recursos mais acessíveis de computação de altíssimo desempenho gera novos potenciais de se extrair valor de *big data*, *data analytics* e inteligência artificial, abrindo novas fronteiras de desenvolvimento de *softwares* especializados.

Portanto, a crescente integração e a interconexão entre equipamentos, componentes, *softwares* e serviços tenderá a aumentar a interdependência e a complexidade do sistema produtivo das TIC. Por uma razão pragmática e considerando a importância atual ou potencial para o Brasil, o presente documento selecionou os seguintes focos setoriais: microeletrônica, equipamentos de telecomunicações e *software*.

1.2 Panorama internacional

1.2.1 Principais mudanças em curso, tensões concorrenciais sobre estruturas de mercado, lideranças empresariais e modelos de negócios

O sistema produtivo das TIC vem sendo pressionado por processos potencialmente disruptivos desencadeados pela crescente integração e interconexão de tecnologias que, no passado, se desenvolviam de modo paralelo. Doravante, porém, a convergência e a interconexão entre as tecnologias intrínsecas às TIC tendem a gerar sinergias poderosas e a deflagrar inovações radicais que podem afetar todos os sistemas produtivos.

O rápido avanço da velocidade e eficiência da Internet, combinado com a disponibilização de capacidade crescente de armazenamento e processamento de informação, vêm permitindo: a estruturação e o espraiamento da IoT e de sistemas avançados e interconectados de manufatura inteligente (produção inteligente e conectada – PIC); a disseminação de sistemas virtuais inteligentes, que adquirem capacidades cognitivas, mimetizam e otimizam processos e equipamentos em tempo real, reconhecem e interpretam imagens e linguagens e respondem a comandos de voz; o acúmulo de *big data* e as possibilidades de otimização de processos e sistemas por meio de *data analytics* e de algoritmos de inteligência artificial, que desvendam conhecimentos críticos com base na análise dos dados.

Simultaneamente, os progressos na capacidade de processamento de informações (dados, imagens, linguagens naturais) começam a viabilizar o surgimento de robôs avançados, capazes de desenvolver capacidades cognitivas próprias com uso de inteligência artificial. A indústria também se beneficiará dos avanços na manufatura aditiva, cujo escopo de aplicações e absorção de inteligência artificial tende a se ampliar. Decerto que esses avanços abrirão mais espaços para o desenvolvimento de *softwares* correlatos de otimização, tanto de processos para os negócios quanto dos processos do chão de fábrica.

Em 2016, segundo estudo da OCDE, aproximadamente um bilhão de indivíduos estavam conectados à Internet (13% da população global de 7,5 bilhões), em função da veloz disseminação de PC, *tablets* e principalmente de *smartphones*. Em 2022, estima-se que 14 bilhões de dispositivos (máquinas e equipamentos, computadores, *smartphones* e demais objetos) estarão conectados. Em mais 12 anos, em 2030, a estimativa é que o número de dispositivos pessoais de acesso à Internet possa alcançar oito bilhões (94% da população mundial) e que o total de máquinas, equipamentos e objetos conectados venha a abranger cerca de 30 bilhões.

Esse processo de interconexão de praticamente tudo via Internet – pessoas, sistemas de infraestrutura, de educação e de saúde, cadeias produtivas da indústria e dos serviços, agronegócios etc. – polarizará e organizará de modo mais eficiente a vida econômica e social. Sob arquiteturas técnicas e organizacionais abrangentes – organizadas em camadas –, sistemas, plataformas e soluções deverão ser desenvolvidos para otimizar processos, disponibilizar novos serviços e produtos ou para o uso compartilhado de ativos. Esse potencial de otimização de processos e de aplicação de grandes sistemas poderá, dependendo das opções políticas, contribuir decisivamente para a sustentabilidade climática e ambiental do planeta. Essa onda de mudanças disruptivas transformará a produção manufatureira, os serviços, os serviços públicos e a agricultura. Seus impactos serão relevantes sobre as estruturas de mercado, as posições de liderança empresarial e os modelos de negócio. Impactos relevantes também afetarão o perfil dos empregos, os requisitos de treinamento e qualificação, e as bases da competitividade e da produtividade.

O SPTIC será fortemente afetado por ser, ao mesmo tempo, pioneiro no uso dessas tecnologias disruptivas e núcleo gerador de inovações radicais para o restante da economia. Será necessário ter em conta os impactos, tanto pelo ângulo da demanda quanto pelo da oferta. As empresas de TIC precisarão se reconfigurar continuamente, seja para atender a necessidades cada vez mais segmentadas ou customizadas de consumidores, usuários e da sociedade em geral, seja para induzir avanços e inovações de seus fornecedores.

Um exemplo relevante de reconfiguração de modelos de negócio ocorreu com a transformação do licenciamento de *softwares* em aluguel por uso de programas ou aplicativos estocados na nuvem, ou seja, a transformação do *software* em um serviço que fica na nuvem e é remunerado por tempo de utilização (*software as a service*– SaaS). Da mesma forma, a substituição do uso do automóvel pessoal pelo aluguel de serviços de transporte, introduzida pelo Uber e, mais recentemente, o compartilhamento de hospedagens em residências, por meio do aplicativo Airbnb, exemplificam como o acesso à Internet e aos novos serviços nela introduzidos pode impactar modelos de negócio e criar novas formas de concorrência. O uso de ativos ou a venda de equipamentos associados a serviços ou em forma de serviços, batizada como servificação ou servitização, vem se ampliando. Outro exemplo é a venda de serviços de propulsão a jato por horas voadas, em substituição à venda ou ao *leasing* de turbinas aeronáuticas.

Nesse contexto de mutações, as estratégias das grandes empresas do sistema TIC experimentam, atualmente, um estado de ebulição. As empresas buscam criar novas vantagens competitivas, procurando se antecipar e oferecer soluções inovadoras de produto-serviço ou de sistemas de gestão interconectados, do fornecedor ao cliente final. Empenham-se em desenvolver sistemas de aprendizado automático (*machine learning*) e algoritmos de inteligência artificial. Não hesitam em entrar em mercados novos, inclusive de parceiros ou de outras empresas poderosas do sistema ou mesmo de outros setores da economia. Algumas empresas movem-se com grande velocidade, como foi o caso do exitoso ingresso de algumas delas no negócio de processamento/armazenamento na nuvem.

A Apple, por exemplo, prossegue em sua estratégia de gerar aplicativos inovadores para seus *smartphones premium* e diferenciados, reforçando as receitas de serviços da AppStore. Aposta fichas em novos saltos qualitativos com a tecnologia 5G, especialmente nos países de alta renda, mantendo seu sistema operacional proprietário. Ingressou com força em serviços de dados na nuvem e ilustra o poder de mercado derivado da integração de plataforma (*hardware* mais *software* de *design* próprios) com novos serviços. Perdeu, entretanto, a corrida no segmento de celulares de baixo custo para o mercado de massa, capturado pelos asiáticos (Samsung, principalmente). Com US\$ 260 bilhões em ativos líquidos, a Apple utiliza sua capacitação tecnológica para investir também em projetos de risco, tais como o mercado de automóveis autônomos conectados.

A empresa Google, após ter dominado o mercado de busca de informação e obtido grande escala de clientes, busca reforçar essa vantagem ao gerar *feedbacks* positivos para seus múltiplos produtos gratuitos e seu assistente por comando de voz, com crescente utilização de inteligência artificial para direcionar o seu *marketing* a *sites* patrocinados ou gerar novas receitas. Identificou cedo o poder de integração de plataformas e serviços de TIC e, conseqüentemente, entrou na área de Internet móvel pela via da disponibilização gratuita, porém seletiva, do sistema operacional Android a fabricantes asiáticos de *smartphones* visando, sobretudo, a fortalecer a demanda por seus aplicativos de localização, comunicação e nuvem – o que induz os usuários a usarem seus *browsers* para as camadas mais lucrativas de sua plataforma. Sua estratégia, doravante, visa a testar a entrada em novos produtos e serviços por meio da aplicação de técnicas de inteligência artificial e de análises *just in time* de dados de seus serviços. A exemplo da Apple, pretende entrar no setor automotivo com os veículos autônomos conectados.

A Microsoft, embora continue líder absoluta em programas para computadores pessoais, não conseguiu viabilizar o seu Windows *mobile* para *smartphones*. De outro lado, enfrenta a desaceleração da demanda por computadores pessoais e *tablets*, o que coloca sob pressão seu negócio tradicional de licenciamento de *softwares* operacionais. Graças aos ganhos significativos com serviços em nuvem, que também reforçam suas ferramentas de produtividade, a empresa manteve-se rentável. Vem investindo em inteligência artificial para combinar diferentes produtos e serviços e atender às necessidades dos clientes. Enfrenta, no entanto, o desafio de garantir segurança contra *hackers* e proteção à privacidade dos dados da sua base de clientes. Os investimentos nesse campo precisarão ser reforçados, diante das dificuldades em integrar sistemas heterogêneos sem abrir flancos a ataques cibernéticos. Assim como outras grandes empresas do sistema, a Microsoft precisará encontrar oportunidades novas em serviços e/ou mercados de alto crescimento para sustentar sua posição de liderança.

A Samsung optou por uma estratégia de plena integração vertical, diferentemente das grandes empresas norte-americanas, que terceirizaram a produção de seus *hardwares*. A empresa se caracteriza por grande capacidade e eficiência de manufatura, integrando desde os componentes microeletrônicos, os *systems-on-chip*, as memórias e os *displays* até a montagem final de uma gama de bens de TIC: computadores, *smartphones*, *tablets*, TVs, sistemas de redes e comunicações. Os produtos de TIC representaram 51,6% do seu faturamento em 2015. Produtos de linha branca e marrom cresceram nos últimos anos, capturando mercado de empresas japonesas como Sony e Panasonic. Ao produzir componentes críticos a baixo custo (*chips*, painéis de LED, BLU, polarizadores), a Samsung consegue manter preços baixos e sustentar o impulso de inovação nessas áreas de componentes, reforçando suas vantagens competitivas na produção de bens finais inovadores. A empresa posiciona-se como a segunda maior produtora de componentes semicondutores. Defronta-se, de outro lado, com a emergência de concorrentes chineses também integrados (como a Huawei) e com a força da Apple no mercado norte-americano. Para sustentar sua liderança, terá de investir

em produtos diferenciados com características exclusivas, intensivas em inteligência artificial, reconhecimento de imagens e comando por voz, e em integração amigável com comércio e serviços bancários.

Outro exemplo de empresa integrada é o da Huawei, que se tornou líder mundial em equipamentos de telecomunicações e, a partir de 2012, buscou se diversificar, ingressando no mercado de telefonia móvel utilizando o padrão Android. Ambiciona concorrer com a Samsung e com a Apple em *smartphones* básicos e em aparelhos diferenciados. Fez parceria recente com a Amazon para integrar em seus produtos o sistema de assistência Alexa. O objetivo estratégico é alcançar a segunda posição no *ranking* mundial de *smartphones* nos próximos dois anos e a primeira posição em cinco e, para isso, deve incrementar a qualidade/preço dos seus produtos com base em tecnologias Giga-LTE, preparando-se para o advento da 5G. Paralelamente, a Huawei investe pesadamente em P&D para manter sua liderança em sistemas de infraestrutura de telecomunicações, oferecendo no estado-da-arte a linha completa e integrada de produtos às operadoras: roteadores, *switches*, sistemas *wireless*, *gateways* seguros etc. Anunciou o plano de ingressar em serviços de nuvem, devendo investir em *data centers*.

As grandes empresas têm optado por dois tipos principais de estratégia: liderança em *design*, concepção e engenharia de produtos e serviços de TIC, com terceirização da manufatura para fornecedores asiáticos (são exemplos de empresas *fabless* a Apple e a Qualcomm); e integração vertical completa, compreendendo desde a fabricação dos componentes microeletrônicos de maior valor agregado até a montagem e o *design* dos produtos, conhecidas como *integrated device manufacturers* (IDM), tais como a Samsung e a Intel. Há também espaço para estratégias híbridas, que conservam parte da produção integrada e parte terceirizada.

A possibilidade de sucesso dessas estratégias de terceirização (empresas *fabless* ou *fablite*) derivou da especialização de fornecedores asiáticos na produção em larga escala de componentes e *displays* e também de plantas de montagem altamente automatizadas, operadas sob contratação (pelas empresas *contract electronic manufacturers* – CEM), combinadas com o uso de trabalho qualificado, porém remunerado com salários baixos. Esses fornecedores, inicialmente na Coreia, Taiwan, Cingapura e depois, crescentemente, na China, trabalham em regimes de OEM (*original equipment manufacturer*) ou de ODM (*original design manufacturer*), estabelecendo relações de simbiose e aprendizado contínuo entre as empresas detentoras dos projetos, mercados e marcas e as empresas manufatureiras fornecedoras (CEM).

Não há uma tendência futura clara de predomínio de uma ou outra dessas estratégias, embora a taxa de crescimento das empresas de *hardware fabless* e *fablite* tenha sido significativamente maior nos últimos anos. Há, decerto, uma tendência à intensificação de alianças, de consolidação por aquisições e fusões, e também de acirramento da competição, na medida em que as empresas líderes nos mercados de produtos/serviços buscam se anteciper às tendências projetadas de aceleração de inovações de natureza disruptiva.

1.2.2 Evolução e perspectivas do setor de microeletrônica: inovação, hierarquia dos mercados, alocação de valor na cadeia produtiva, empresas líderes e suas estratégias

O setor de microeletrônica detém posição estratégica na cadeia de produção de bens de TIC. Entretanto, dadas as condições de acirrada concorrência nos mercados e a elevada eficiência obtida na produção em larga escala dos *chips*, o setor captura um valor econômico relativamente menor, representando uma fração pequena do valor total que cria na cadeia global de eletrônica e serviços de TIC. Em síntese, a indústria de semicondutores é crucial para a inovação em TIC, porém esse efeito não se traduz em valor econômico correspondente e não compartilha das taxas de crescimento que se verificam nos serviços de TI e de comunicações que os *chips* e sistemas de *hardware* habilitam. Isso pode ser ilustrado pela pirâmide de valores da Tabela 1, na qual o faturamento global é estratificado em:

- Faturamento da indústria de equipamentos para a fabricação de semicondutores, que representa parte expressiva do Capex das empresas de *chips*, estimado em US\$ 69,6 bilhões em 2017 (VLSI RESEARCH, 2017), com crescimento de 29,2% sobre 2016.
- Valor da produção dos semicondutores, que alcançou em 2017 o valor recorde estimado de US\$ 408 bilhões (WSTS, 2017), crescendo 20,4% sobre 2016 (US\$ 338,9 bilhões, ou US\$ 343,5 bilhões, segundo a consultoria Gartner).
- Valor dos bens eletrônicos produzidos em 2015, que atingiu € 1,6 trilhão (DECISION, 2016), ou US\$ 2,034 trilhões em 2017, segundo estimativa da consultoria VLSI Research.
- Valor econômico dos serviços de comunicações e rede, provedores de acesso, fornecedores de conteúdo e mídia, que foi da ordem de US\$ 1,56 trilhão.

Tabela 1 – Comparativo do valor econômico relativo dos segmentos setoriais

Setor	Valor anual	Unidade
Equipamentos de produção para semicondutores (2017) (1)	69,6	US\$ B
Semicondutores (2017) (2)	408	US\$ B
Indústria de bens eletrônicos em geral (2015) (1) (3)	2.130	US\$ B
Serviços de comunicação e rede, acesso e conteúdo (4)	1.560	US\$ B

Fontes: Elaboração própria com base em VLSI (2017), WSTS (2017) e Decision (2016).

O ritmo de desenvolvimento tecnológico das TIC depende da inovação no *hardware* (de componentes-chave a semicondutores que integram os sistemas de *hardware*) e nos respectivos *softwares*, ainda que a maior parcela de valor seja capturada no topo das camadas de bens finais eletrônicos (equipamentos de computação, de telecomunicações, TV e áudio, eletrônica veicular, equipamentos médicos, robôs e outras

máquinas industriais, equipamentos aeroespaciais e de defesa etc.) e pelos serviços (operação de redes de comunicações, provimento de acesso, produção de conteúdos, serviços de busca de informação etc.). Há, por exemplo, uma dependência estratégica entre as fabricantes de equipamentos de telecom e os fabricantes de semicondutores.

Em resumo, as empresas de equipamentos e bens finais beneficiam-se com a terceirização do projeto e/ou da manufatura dos *chips*, que são essenciais ao funcionamento dos equipamentos e/ou dos serviços ofertados via Internet. Essa interação estratégica na cadeia de produção só se tornou possível por meio dos modelos de produção OEM e ODM e do modelo de negócios de *foundry* dedicada (fabricação de circuitos integrados para terceiros), que a indústria de semicondutores introduziu a partir do início dos anos 1980.

O modelo de fabricação terceirizada de circuitos integrados (CI) propiciou a separação das atividades empresariais de *design* de circuitos integrados das demais etapas da cadeia de produção. O ecossistema de *design* desde então tem se expandido e segmentado de maneira expressiva, propiciando a emergência de milhares de empresas de engenharia de projeto de chips, que se beneficiam da contratação de cerca de meia dúzia de grandes empresas que atuam somente como *foundry* de silício para terceiros.

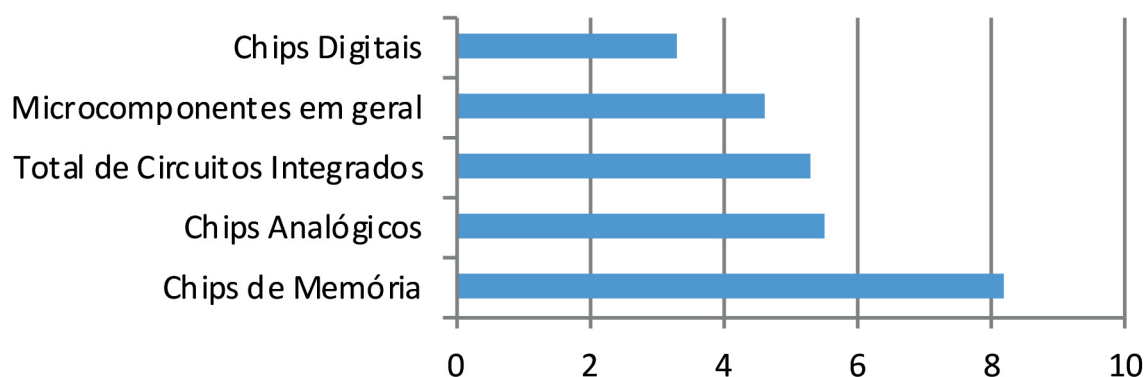
Os benefícios dessa evolução do ecossistema de microeletrônica e de extensão da cadeia em nível mundial levaram à geração de valor e de inovações que se propagaram e ainda avançam para todos os setores de TIC e para os usuários finais, na forma de melhores serviços e produtos eletrônicos a preços decrescentes, considerados os ganhos de capacidade e funcionalidade dos equipamentos e dos serviços (STURGEON *et al.*, 2013).

A cadeia global de componentes semicondutores abrange: circuitos integrados; componentes discretos; componentes optoeletrônicos; e componentes discretos sensores e/ou atuadores. A cadeia produtiva da categoria mais importante, a dos circuitos integrados, é composta pelas seguintes etapas:

- Concepção de sistemas de *hardware*.
- Projeto (*design*) dos circuitos integrados ou *chips*.
- Fabricação de *wafers* em fábricas ultralimpas (fabricação *front-end*).
- Encapsulamento (*backend*) e teste final do componente.
- Serviços ao cliente (distribuição, *marketing* e suporte técnico pós-vendas).

A Figura 3 exibe os percentuais de crescimento anual projetados pela consultoria IC Insights para a indústria de circuitos integrados no período de 2015 a 2020. Os percentuais maiores são para circuitos integrados de memória (8,2% ao ano) e os menores para circuitos integrados digitais em geral (3,3% ao ano), sendo a média de crescimento projetada de 5,3%.

Figura 3 – Percentuais de crescimento anual para circuitos integrados, 2015-2020



Fonte: ICInsights (2016).

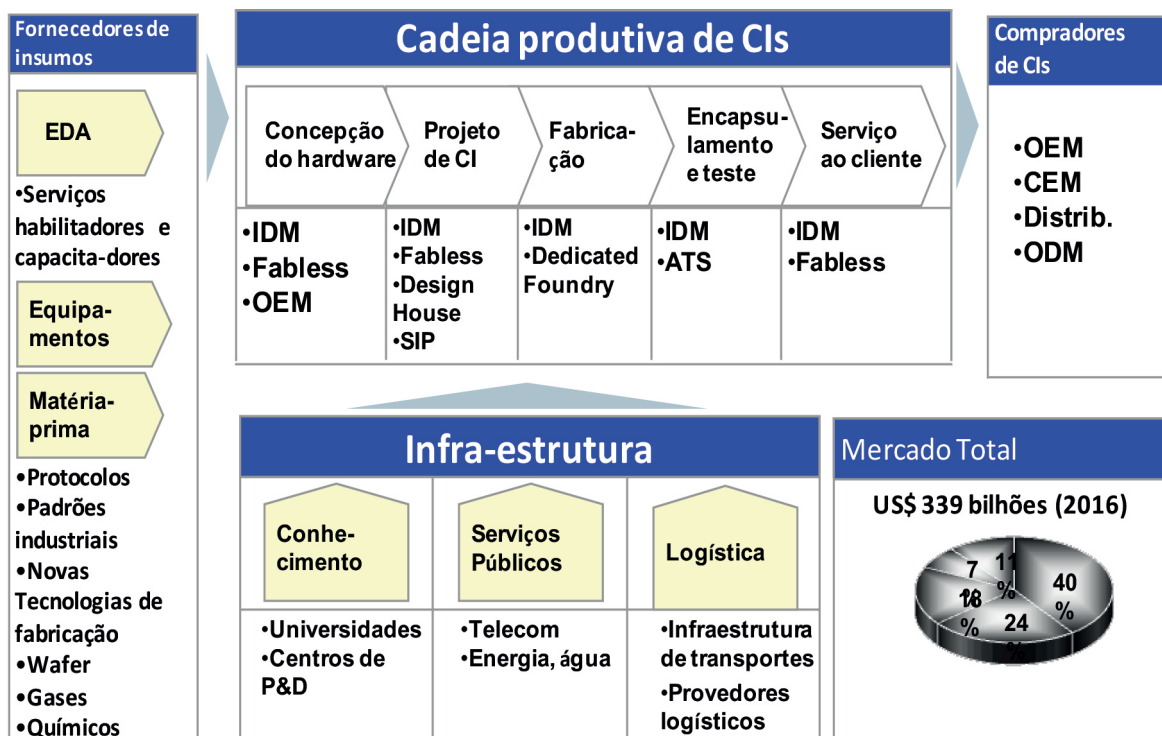
A Figura 4 esquematiza o ecossistema produtivo e tecnológico para circuitos integrados, que está distribuído globalmente, com preponderância do leste asiático (China, Coreia do Sul, Taiwan e Japão) nas etapas de fabricação *front-end*, encapsulamento e teste de componentes. Na fabricação de *wafers* ainda predominam as fábricas de IDM, enquanto as empresas *foundries* de silício exclusivamente para terceiros (*pure play foundries*) têm crescimento expressivo.

Para algumas classes de insumos ou bens de capital utilizados na cadeia, existe um número restrito de fornecedores. Por exemplo, os fornecedores do insumo *software* (EDA na Figura 4) para apoio à engenharia de projeto têm faturamento anual de cerca de US\$ 7 bilhões de dólares, concentrado em três grandes empresas de *software* especializado (Synopsys, Cadence *Design Systems* e Mentor Graphics), e centenas de empresas de *software*, muito menores, especializadas em *know-how* específico para a concepção de sistemas e projeto de *chips* (etapas 1 e 2, respectivamente). Alguns bens de capital indispensáveis na etapa 3, de fabricação de *wafers*, como os *steppers* (imageadores de altíssima precisão, na escala de 10 nm) para fotolitografia óptica, têm dois fornecedores de equipamento estado-da-arte para toda a indústria global (a holandesa ASML e a americana Ultratech). Portanto, a especialização e a complexidade do ecossistema de microeletrônica alcançaram um grau muito maior que o presente na indústria de bens finais e colaboraram decisivamente para as inovações dessa última.

O subsetor de fabricação de semicondutores, em particular as empresas IDM e as *foundries* dedicadas, que se especializam na fabricação de circuitos integrados de alta complexidade e no estado-da-arte, têm mantido em média um investimento anual em capital fixo não inferior a 15% a 20% do seu faturamento, o que torna as condições de concorrência e de sobrevivência nesse mercado de fabricação de *wafers* bastante arriscadas.

Foi a partir dos anos 1981-82 que se viabilizou a fabricação de *chips* sob encomenda por meio de *foundries* dedicadas, tornando competitiva a terceirização da fabricação dos *wafers* e permitindo o surgimento de empresas sem fábrica ou *fabless*. Essas possuem mercados, marcas, portfólio de produtos e componentes próprios, mas os fabricam sob encomenda nas referidas *foundries*. Já essas últimas, por definição, não colocam no mercado os componentes com sua marca, limitando-se a faturar os serviços de fabricação dos *wafers* encomendados.

Figura 4 – Esquema simplificado da cadeia produtiva, de suprimento e infraestrutura da indústria de microeletrônica



Fonte: Adaptado de Gutierrez e Alexandre (2003).

As *pure playfoundries* que lideram esses processos de fornecimento são a TSMC, a Global Foundries, a UMC e mais uma dezena de empresas menores, além do caso particular da Samsung, que é IDM e faz alianças estratégicas como *foundry* apenas para seus clientes estratégicos. As *foundries* viabilizam a fabricação dos *chips* de empresas *fabless* inovadoras como a Apple (processadores), Qualcomm, Broadcom, Mediatek, Xilinx (*chips* FPGA – *field programmable gate arrays* – com processadores embarcados), assim como de milhares de outras empresas menores.

Atualmente as duas empresas líderes no *ranking* de faturamento mundial de semicondutores (Intel e Samsung Semicondutores) atuam como IDM, cobrindo todas as cinco etapas da cadeia de valor. No polo oposto, as empresas *fabless* terceirizam não apenas a fabricação dos componentes/*wafers* (*front-end*), como também o encapsulamento e testes (*backend*). Com mais flexibilidade para se dedicar ao *design* e à concepção de produtos e serviços, as *fabless* cresceram mais que a média do setor de circuitos integrados. O total se incrementou a um ritmo de 9% ao ano entre 2010 e 2015, enquanto as empresas IDM cresceram apenas 2% ao ano no período. Entre as dez maiores produtoras de CI há cinco empresas IDM e cinco *fabless* ou *fablite* (que ainda fabricam *wafers*, mas terceirizam a maior parte de seus produtos, notadamente o seu encapsulamento).

Tabela 2 – Dez maiores empresas de circuitos integrados, 2016 (em US\$ bilhões e %)

Ordem 2016	Empresa	Modelo de fab.	Faturamento 2016	2016 Market Share (%)	Faturamento 2015	2015-2016 Variação (%)
1	Intel	IDM	54.091	15,7	51.690	4,6
2	Samsung Electronics	IDM	40.104	11,7	37.852	5,9
3	Qualcomm	<i>Fabless</i>	15.415	4,5	16.079	-4,1
4	SK Hynix	IDM	14.700	4,3	16.374	-10,2
5	BroadcomLtd. (aquisição da Avago)	<i>Fabless</i> + Avago	13.223	3,8	4.543	191,1
6	Micron Technology	IDM	12.950	3,8	13.816	-6,3
7	Texas Instruments	<i>Fablite</i>	11.901	3,5	11.635	2,3
8	Toshiba	IDM	9.918	2,9	9.162	8,3
9	NXP Semiconductors	<i>Fablite</i>	9.306	2,7	6.517	42,8
10	Media Tek	<i>Fabless</i>	8.725	2,5	6.704	30,1
	Outras		153.181	44,6	160.562	-4,6
	Total do mercado		343.514	100,0	334.934	2,6

Fonte: Gartner Group (2017).

As duas empresas líderes globais no segmento de *foundries* (TSMC e Global Foundries) estão representadas entre as dez maiores empresas de semicondutores do mundo com o fornecimento às empresas *fabless*. Note-se que a Tabela 2 lista apenas as empresas que estão no negócio de venda de *chips*, enquanto as empresas *pure play foundries* são vendedoras às *fabless* de serviços de fabricação, e não dos *chips* que produzem em suas instalações. As empresas IDM, verticalmente integradas, têm reduzido a sua participação relativa, mas ainda constituem o segmento mais expressivo na produção *front-end* dos semicondutores, com cerca de US\$ 201 bilhões de faturamento anual em 2015.

1.2.2.1 Componentes discretos

Os componentes semicondutores discretos têm menor complexidade na etapa de *design*. Sua funcionalidade nos sistemas eletrônicos pode ser assim definida: são os componentes eletrônicos cuja integração aos *chips* complexos é inviável econômica e tecnicamente, do ponto de vista de sua tecnologia de fabricação e de suas características elétricas. Apesar de serem mais simples, os discretos têm significativo valor, pois são essenciais à captura e à transmissão da informação, no primeiro caso como sensores e no segundo, para a transmissão remota da informação, como os dispositivos da interface de conversão eletro-óptica e vice-versa.

O conjunto dos semicondutores discretos somou US\$ 62,2 bilhões em 2016 (WSTS, 2017), isso é, 18,3% do total do mercado de semicondutores. Nessa categoria de componentes discretos, incluem-se: sensores e atuadores; optoeletrônicos, como LED (*light-emitting diodes*), *lasers* e fotodetectores, como os sensores de imagens CMOS; dispositivos fotovoltaicos (para conversão de energia solar); dispositivos microneleletrônicos (MEM, NEM) que podem ser incluídos na categoria de sensores ou atuadores com interfaces mecânicas em escala micrométrica.

Como o mercado de sensores e atuadores é muito diversificado, e esses termos são aplicados a dispositivos bio-físicos-químicos-elétricos que utilizam os mais diversos materiais, o mercado de sensores e atuadores a semicondutor é uma fração significativa do mercado total de sensores.

Sensores semicondutores representaram, em 2016, um mercado de US\$ 10,82 bilhões e têm experimentado taxas de crescimento mais expressivas que a média da indústria de semicondutores. A importância dos sensores será crescente nesse complexo de componentes, devido à integração daqueles aos dispositivos que habilitam a IoT. A informação física, analógica (temperatura, pressão, velocidade, cor/imagem etc.) é capturada por esses sensores. A IoT deverá diversificar e fazer crescer ainda mais a indústria de sensores e atuadores, que integra a cadeia de microeletrônica.

Já os dispositivos optoeletrônicos e fotovoltaicos, em conjunto, totalizaram US\$ 34,4 bilhões em 2017 (WSTS, 2017), aqui incluídos os *chips* sensores de imagens em CMOS que, uma vez adicionados nos celulares, vulgarizaram a captura de imagem e vídeo em resoluções acima de 10 MPixels nos dispositivos móveis. Os componentes semicondutores discretos (diodos, transistores, termistores etc.) não enquadrados acima somaram cerca de US\$ 21,5 bilhões em 2017.

As tendências globais do ecossistema de semicondutores englobam uma acentuada desverticalização da cadeia, com empresas especializadas em etapas, tais como: serviços de *back-end* de encapsulamento, serviços de teste de componentes; suprimento de bens de capital para fábricas de *front* e *back-end*; suprimento de *software* para automação do projeto eletrônico e serviços de projetos de engenharia de sistemas e de projetos de circuitos integrados.

Haverá uma progressiva fragmentação geográfica das operações não fabris (*design* e produção de propriedade intelectual em *design* e serviços técnicos às fábricas) em escala global, acompanhada da redução das operações de fabricação *front-end* a poucos países, como Estados Unidos, Coreia, Japão, Taiwan, China, Alemanha, Cingapura, os quais têm demonstrado solidez na sua estrutura técnico-científica para ancorar essa indústria, altamente sofisticada, extremamente intensiva em capital e em *know-how* ultraespecializado.

Percebe-se ainda uma tendência contínua à consolidação de empresas globais, via aquisições, fusões e alianças estratégicas de desenvolvimento de semicondutores. O segmento de *pure play foundries* consolidou-se desde 2010 com a aquisição pela Global Foundries das empresas: Chartered (de Cingapura) e IBM Microelectronics (dos Estados Unidos), por exemplo. A Global Foundries, por sua vez, resultou da venda pela AMD, em 2009, de sua divisão de fabricação de semicondutores para o fundo de investimento ATIC do Mubadala, Fundo Soberano do Emirado de Abu Dhabi. As aquisições recentes de empresas como Altera, de sistema sem *chip* denominados arranjos lógicos de *hardware* programável, os FPGA (pela Intel); da Avago Inc. (pela atual Broadcom); da NXP, originada da antiga Philips Semiconductors (pela Qualcomm); da Freescale, ex-Motorola, (pela NXP); da Mentor Graphics, empresa de *software* de automação de *design* eletrônico – EDA (pela Siemens), dentre vários outros eventos, confirmam a tendência à consolidação nessa indústria de semicondutores. Essas aquisições são movidas pelas oportunidades vislumbradas diante do avanço das comunicações digitais e da IoT e pela emergência dos veículos autônomos, em um ambiente extremamente competitivo, o que torna imperioso agregar capacitações e superar debilidades em *design* e produção de *chips*.

A especialização das empresas de projeto de sistemas de *hardware* (bens finais) e de projeto de *chips* (especializados para aqueles bens finais) em segmentos definidos de produtos é uma tendência há mais de 20 anos. A especialização das empresas de projeto pode se dar na etapa do projeto de engenharia eletrônica, na classe de produto final, ou de componente, ou de elemento de propriedade intelectual, que é desenvolvido nas etapas 1ª e 2ª da cadeia ilustrada na Figura 4. Emergiu daí, desde meados dos anos 1990, o modelo de licenciamento ou *royalties* por propriedade intelectual para empresas de *design* apenas. Esse nicho de negócios alcançou valor de *traded IPs* (propriedade intelectual para *design* de *chips*, licenciada e/ou comprada) de US\$3,1 bilhões em 2015, com tendência a crescer cerca de 10% ao ano até 2022. A empresa ARM, de IP de *hardware* para processadores, por exemplo, lidera esse setor de IPs comercializadas.

Outros componentes eletrônicos, como mostradores, componentes passivos, baterias para eletrônica, placas de circuito impresso etc., têm uma cadeia bem menos complexa, porém similar ao que se assinala para os CI na Figura 4. Para todos esses outros componentes, a atividade da etapa 1, de concepção/projeto do *hardware*,

também é essencial para definir as oportunidades de mercado para os seus produtores. Portanto, o encadeamento da indústria de componentes para trás revela uma relação de parceria contínua com as empresas (OEM ou ODM) que fazem o projeto dos bens finais. A cadeia de engenharia do *design* do sistema comanda, assim, uma etapa essencial para o *design* e a fabricação de componentes. No caso dos componentes não semicondutores, a etapa de *design* é bem mais simples e não requer investimentos significativos.

1.2.3 Evolução e perspectivas do setor de equipamentos de telecomunicações: convergência com as TI, acirramento da concorrência e alocação de valor ao longo da cadeia, novos entrantes e estratégias das líderes

Historicamente, o setor de telecomunicações tem sido peça-chave das políticas de desenvolvimento econômico e social e ingrediente estratégico em termos de segurança e soberania nacional. Por isso, a indústria de telecomunicações é objeto de políticas públicas regulatórias e de incentivos, com vistas à universalização do serviço, ao desenvolvimento tecnológico, à defesa da concorrência e à prevenção de abusos contra os usuários finais.

A partir de meados dos anos 1980 e 1990, as estruturas monopolistas estatais e privadas foram transformadas pela convergência tecnológica decorrente da fusão entre o paradigma de comunicação baseada em voz com o paradigma informático de comunicação de dados e multimídia. A difusão da Internet e do protocolo TCP/IP (*transmission control protocol/Internet protocol*) permitiu o surgimento de novos atores no setor e de novas categorias de serviço, descaracterizando as condições de um monopólio natural. Essa transformação tecnológica e institucional impulsionou um processo de privatização das estatais e, de quebra, de monopólios, em uma reestruturação que introduziu novos agentes no mercado elevando a complexidade da indústria (SZAPIRO, 2007).

A convergência tecnológica possibilitou trafegar de forma equivalente tanto voz quanto dados por meio das redes, isso é, tornou as redes transparentes (LOURAL *et al.*, 2006a). Eliminou-se a exclusividade de serviços e abriu-se espaço para novos entrantes. A digitalização e a automação possibilitaram a redução dos custos dos investimentos fixos e um retorno mais rápido sobre o capital investido.

A perspectiva de inovações disruptivas, com a rápida disseminação da IoT, particularmente a intensa difusão de dispositivos conectados, põe a indústria de equipamentos e sistemas de telecomunicações em posição ainda mais desafiadora e relevante para o futuro das sociedades. Ao mesmo tempo em que a indústria enfrenta mudanças acentuadas no ambiente de competição, é apontada como meio para a consecução de grandes benefícios sociais, ao viabilizar a digitalização e a interconexão generalizada de cidadãos, setores econômicos, fábricas, cidades e toda e qualquer infraestrutura.

As empresas de equipamentos de telecomunicações e as operadoras de telefonia enfrentam um paradoxo: de um lado, são habilitadoras da revolução digital em curso, com perspectiva de aumento explosivo no número de assinantes e no volume de tráfego; de outro, se veem ameaçadas pela profunda mudança no perfil de consumo, que se afasta das tradicionais soluções de voz e texto e demandam cada vez mais dados e conteúdo multimídia. Essa mudança no perfil da demanda, bem como a ameaça de novos entrantes nativos digitais com modelos de negócios inovadores e infraestruturas mais eficientes, ameaçam as operadoras de telecomunicação incumbentes, acentuando as pressões sobre os fornecedores de equipamentos e sistemas de rede.

Além da competição acirrada, novos desafios se apresentam ao setor, destacando-se a exigência de segurança e privacidade de dados em um contexto de *big data*; a necessidade de redes ágeis e flexíveis, por vezes com ampla cobertura geográfica e/ou demandando baixa latência e alta confiabilidade (WEF, 2017).

As transformações ocorridas nos anos 1990 modificaram a cadeia de valor das telecomunicações. A nova configuração resultante do processo de abertura de mercados é passível de organização em quatro camadas hierárquicas, como foi apresentado por Fransman (2007). Neste modelo, as atividades de telecomunicação são organizadas em camadas, a partir da camada I, de elementos de redes (equipamentos, sistemas e redes de comunicação), e principalmente por meio da interface TCP/IP, chegando a camadas superiores (III, IV e V) de serviços e aplicações (operadoras de telecomunicação, acesso à Internet, hospedagem *web*, *middleware* e aplicativos). Na Tabela 3 estão descritas as respectivas atividades e participantes.

Tabela 3 – Topologia do ecossistema de TIC – telecomunicações

Camada	Atividade	Componentes	Exemplos de empresas
V	Clientes e consumidores	Domicílios, governo, empresas grandes e pequenas etc.	-
VI	Provedores de conteúdo e mídia	Empresas de mídia, produção de conteúdo, programação de rádio e televisão, e jogos.	Time Warner, Disney, Grupo Abril, Rede Globo, UOL.
III	Intermediação	Empresas de Internet, aplicações, agregadoras de conteúdo, publicidade.	Google, Facebook, Amazon, Yahoo.
II	Operadoras de rede e serviços de telecomunicação	Provedores de serviços fixos e móveis de voz e dados, provedoras de Internet, televisão, difusão.	Verizon, AT&T, T-Mobile, Vodafone, Telefonica, América Móvil.
I	Infraestrutura e provedores de tecnologia	Fabricantes de <i>hardware</i> , incluindo roteadores, <i>switches</i> , semicondutores, eletrônicos de consumo, equipamentos e sistemas de rede. Desenvolvimento de <i>software</i> , incluindo sistemas operacionais, exceto aplicações de Internet.	Huawei, Cisco, Ericsson, Samsung, Apple, Nokia, Oracle, ZTE.

Fonte: Adaptado de Simon (2011) e Fransman (2007).

A lógica da Internet estimulou a adoção de padrões abertos, diferentemente dos padrões proprietários que caracterizaram os monopólios. Além disso, a competição favoreceu a desvinculação entre operadoras de serviços de telecomunicações e fabricantes de equipamentos e sistemas.

O acirramento da concorrência entre as operadoras, com reflexos sobre os fabricantes, resultou em significativa queda dos preços na camada I e conseqüente perda de lucratividade, aumentando a dependência da escala na atividade de fabricação de equipamentos e inviabilizando a atuação de empresas de pequeno porte (GRACIOSA *et al.*, 2002). O serviço de comutação de dados tornou-se, assim, um negócio pouco atrativo, dadas as externalidades de rede.

Gradualmente, as atividades de maior valor agregado e maior margem migraram para as camadas superiores do modelo de Fransman. Além disso, o perfil de equipamentos e tecnologias demandadas aos fornecedores sofreu mudança significativa, dada a tendência global de substituição de telefonia fixa por móvel – tanto para tráfego de voz como, especialmente, de dados –, assim como o uso de voz e mensagens SMS/MMS vem sendo substituídas por voz-sobre-IP e serviços de mensagem *over-the-top* (OTT).

A diminuição do número absoluto de linhas fixas é tendência mundial. De outro lado, sublinhe-se o crescimento das tecnologias móveis para acesso à Internet. Essa é uma tendência importante para o futuro, especialmente pelo crescimento da comunicação M2M, impulsionada pela IoT. A previsão é de que o tráfego por *smartphones* supere o acesso por computadores até 2021: em 2016, os computadores representaram 46% do tráfego, enquanto os *smartphones* foram responsáveis por 13%; para 2021 a estimativa é que representem 25% e 33%, respectivamente (CISCO, 2017). De maneira geral, o tráfego por dispositivos móveis será equivalente a mais de 63% do total do tráfego sobre IP em 2021 (CISCO, 2017). Comunicações máquina-a-máquina apresentarão um crescimento composto anual (CAGR) de 46% até 2021.

Nos anos recentes, esse processo tem se acentuado com a entrada de novíssimos *players* no mercado, operando sobre a infraestrutura de empresas incumbentes e oferecendo serviços por meio de novos modelos de negócio. A possibilidade de provimento de uma diversidade de serviços sobre uma mesma rede permite, por exemplo, que empresas de televisão ofereçam serviços de telefonia, ou o surgimento de operadoras de telefonia móvel que não possuem infraestrutura de rede operando sobre estruturas terceirizadas em um modelo de negócios chamado *mobile virtual network operator* (MVNO).

Além do acirramento da competição entre operadoras tradicionais, novos serviços digitais, como Skype, Apple FaceTime, Google Hangouts, Whatsapp, dentre outros, ameaçam canibalizar a base de receita das operadoras, oferecendo transmissão de mensagens, voz e vídeo mediante modelos de negócio inovadores e atrativos (McKINSEY, 2017). Uma análise de cenários (McKINSEY, 2017) aponta uma possível participação destes atores *over the top* (OTT) de 60%, 50% e 25% da receita global

dos serviços de mensagem, voz fixa e voz móvel, respectivamente, em 2018. Porque esses atores possuem modelos de negócio inovadores e de baixo custo, conseguem oferecer melhores preços aos consumidores finais, pressionando as margens de lucro das operadoras tradicionais.

Além das empresas de comunicação, outras grandes empresas de tecnologia, como Google, Microsoft, Apple, Baidu, Samsung, IBM, Cisco, Huawei e ZTE, almejam aumentar suas participações na cadeia de valor da telecomunicação com soluções inovadoras, visando a capturar a explosão de consumo desencadeada pela revolução digital (McKINSEY, 2017). Esse contexto de competição agressiva desencadeou processos de consolidação no setor de telecomunicações, com tendência à aceleração.

O mercado global de equipamentos de telecomunicação é hoje dominado por um pequeno número de fornecedores (*vendors*). A Tabela 4 apresenta a evolução da receita dos principais fornecedores globais de equipamentos e sistemas.

Tabela 4 – Receita líquida mundial em telecomunicações, 2010/2016
(em US\$ milhões)

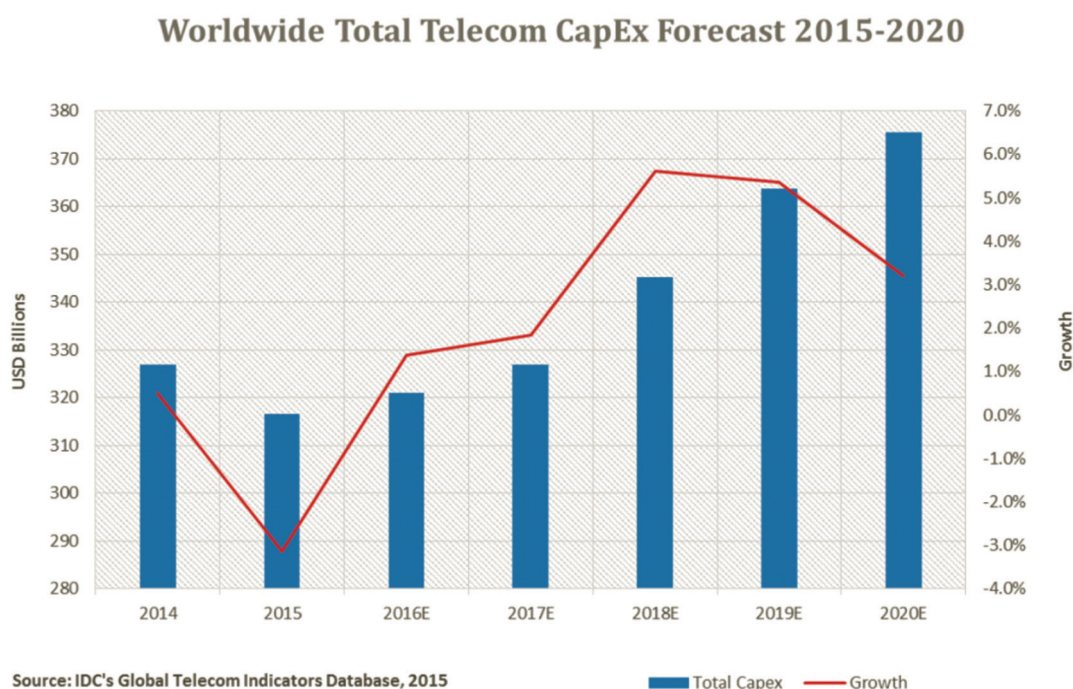
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Huawei	27,7	32,4	35,3	39,4	47,6	61,2	75,1
Cisco	42,4	44,8	47,2	47,9	48,1	49,6	48,6
Ericsson	30	33,1	36,1	30,7	29,5	29,3	24,6
ZTE	10,7	13,7	13,5	12,4	13,1	16,3	14,58
Nokia	74,1	65,3	53,6	17,5	15,4	13,9	-
Alcatel-Lucent	21,2	20,4	19	20	16	15,5	-

Fonte: Elaboração própria com base em dados de Teleco (2017) e Statista (2017).

Sob a pressão das transformações, as telecomunicações vêm, contudo, tirando proveito de aumentos de eficiência das redes, de modo a reduzir suas necessidades relativas de Capex. Com isso, apesar do forte crescimento da demanda por uso de banda, não se verifica um aumento proporcional dos investimentos em *hardware*. Tecnologias tais como as redes definidas por *software* (*software defined networking*– SDN) e a virtualização de funções de rede (*network function virtualization* – NFV) atenuam os custos da infraestrutura, possibilitando operar em larga escala sobre computação na nuvem e otimizando os seus gastos em *hardware* (IDC, 2016).

A transição de padrões de comunicação móvel desde a 1G até a atual 4G tornou a rede mais confiável e mais eficiente em custos. O aumento da eficiência redundava em um crescimento mais lento dos gastos com equipamentos e sistemas, como mostra a Figura 5. Os gastos em P&D pelas empresas de equipamentos se aceleram, porém, para desenvolver a 5G de comunicação móvel.

Figura 5 – Projeção do investimento fixo global em telecomunicações, 2015/2020 (em US\$ bilhões e %)



Fonte: IDC (2016).

A forte concorrência entre as operadoras acelerou as fusões e as aquisições, aumentando a concentração na indústria demandante de equipamentos. A preferência estratégica por manter poucos ou apenas um único fornecedor de equipamentos e sistemas, negociando pacotes globais de fornecimento, diminui a demanda local. Além de exigir preços mais baixos, atrelam-se os serviços de suporte, instalação e manutenção. Essa concentração na estrutura de mercado coloca em risco o investimento em P&D, uma vez que o desenvolvimento tecnológico se concentra na camada de equipamentos (camada I), mas a alocação da receita e das maiores margens migra para camadas superiores (III, IV e V). Enfraquece-se, assim, a interação positiva entre operadoras e fabricantes de equipamentos, devido à dificuldade de apropriação pelas operadoras dos benefícios da inovação em infraestrutura. Por outro lado, dada a grande escala de atuação, as operadoras têm alto poder de barganha, pressionando a lucratividade dos fornecedores de equipamentos, cujas atividades de P&D podem ser afetadas.

O ecossistema de equipamentos de telecomunicações tende a um crescimento exponencial no número de dispositivos conectados, tanto de bens de consumo quanto aplicações industriais e conexões máquina-máquina (M2M), gerando um crescente volume de dados e demandando cobertura de conectividade sem fio e armazenamento na nuvem. Haverá forte pressão de demanda para ampliação de capacidade e eficiência das redes, bem como oportunidades para aplicações de *big data* e *analytics* na geração de inteligência de mercado e novos modelos de negócio (CAPGEMINI, 2015; WEF, 2017).

Espera-se uma continuidade da consolidação da indústria, tanto no segmento de operadoras de telefonia quanto no de equipamentos e sistemas, com a aceleração de fusões e aquisições, seja como estratégia de crescimento não orgânico para obtenção de conhecimento e tecnologia, seja para captura de novos nichos e mercados. O resultado almejado é acumular ganhos de escala, escopo e externalidades de redes.

À medida que se acelera a difusão da IoT, da computação em nuvem, da Indústria 4.0, e há ampliação da base de usuários de dispositivos conectados, faz-se necessária a expansão da cobertura e capacidade das redes de telecomunicações, exigindo mais investimentos em infraestrutura. Contudo, na configuração atual os retornos estão concentrados nas camadas superiores de serviços ao consumidor final, debilitando a capacidade de investimento das operadoras de telefonia e fabricantes de equipamentos, o que aumenta a pressão sobre outros agentes para ampliação das redes. Neste contexto, já se observam investimentos de OTT em infraestrutura: iniciativas da Google para implantação de cabos ópticos submarinos por meio do Oceano Pacífico, em parceria com o Facebook (G1 TECNOLOGIA, 2016), e interligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, com tecnologia nacional da PadTec (PRADO, 2016). A Huawei, por sua vez, investirá em infraestrutura de nuvem, em parceria com Telefónica.

Espera-se uma mudança na fonte de receitas, bem como um estímulo à integração vertical da indústria. A conectividade deixará de ser fonte relevante de receitas, com a difusão de modelos de negócio em que a conexão será gratuita ou mediante tarifa fixa. Na cadeia de valor, as empresas de conectividade representarão uma parcela gradativamente menor da geração de receitas, que vêm migrando para as camadas de serviços e aplicações, o que tende a induzir a aquisição de operadoras de telefonia e empresas de infraestrutura por empresas de conteúdo e aplicações (CAPGEMINI, 2015).

Surgirão novos serviços e modelos de negócios, em busca de novos mercados, criando oportunidades para os pioneiros. Empresas de diferentes segmentos apostam em soluções de IoT, Indústria 4.0 e serviços digitais, incluindo empresas de setores diversos como: varejo digital (Amazon), *software* (Google, Microsoft, Oracle), telefonia (AT&T), equipamentos de telecomunicação (Huawei, Cisco, Hitachi, Nokia, Samsung), computadores (IBM, Dell, Lenovo, Intel), energia (GE, Siemens) e engenharia (Bosch). O setor de telecomunicações é um campo aberto e pleno de oportunidades e riscos.

1.2.4 Evolução e perspectivas do setor de *software*: tendências, impactos sobre estruturas de mercado, padrões de concorrência e estratégias das líderes

A indústria de *software* constitui um dos setores mais dinâmicos da economia mundial, tendo alcançado faturamento de US\$ 494 bilhões em 2016 (IDC). Entretanto, sua importância não pode ser medida apenas pelo valor das vendas, mas principalmente pelo seu impacto no aumento da produtividade e na geração de novos modelos de negócio nos demais setores da economia. Muitas empresas que prestam serviços até

pouco tempo chamados de convencionais podem ser hoje consideradas empresas de *software*, pelo fato de usarem programas de computador como núcleo estratégico de suas operações.

Empresas em todos os setores econômicos estão assumindo que o *software* faz parte de seu negócio e ameaçam empresas tradicionais do ramo. Os ramos de comércio varejista, telecomunicações, serviços de transportes, serviços bancários, dentre outros, vêm sendo invadidos por empresas como Amazon, Facebook, Skype, WhatsApp, Baidu, Alibaba, Uber, Didi Chuxing, Airbnb e as chamadas *fintechs*. Tais empresas são enquadradas como prestadoras de serviços, mas para efeitos práticos poderiam ser consideradas de *software*, pois seu núcleo de competência reside no desenvolvimento de sistemas capazes de intermediar serviços prestados por terceiros e vender praticamente tudo *online*. Empresas típicas do setor de *software*, como Microsoft, IBM, SAP, Oracle e Totvs, estão alterando seus modelos de negócios e adquirindo *startups* para se adequarem à tendência de fornecer *software* como serviço (SaaS) e agregar mais serviços *online* a seus produtos.

No segmento industrial, o fenômeno denominado servitização resulta da incorporação a produtos e equipamentos de serviços de valor adicionado criados por *softwares*, configurando a oferta de pacotes de soluções, e não mais somente a venda de produtos de *per se*. No contexto da Indústria 4.0, *softwares* podem controlar, ou até mesmo substituir, componentes físicos (elétricos ou mecânicos) ao serem embarcados em produtos ou na nuvem, podendo gerar significativos benefícios para as empresas. Isso aponta para uma tendência de ampliação da importância econômica não apenas da indústria de *software*, mas das soluções nele baseadas. De outro lado, o desenvolvimento de novos produtos, equipamentos e sistemas de TIC sempre demandam novos projetos de *design* e engenharia de *softwares* operacionais e de aplicação, gerando novas soluções, que multiplicarão as oportunidades do setor.

O *software* se caracteriza por ser um produto caro para produzir, porém barato para reproduzir. Segundo Shapiro e Varian (1999), bens da informação apresentam altos custos fixos e baixos custos marginais. A fixação de preços, portanto, não depende diretamente dos custos de produção, uma característica que abre espaço para novas formas de competição que diferem da economia dos bens físicos.

Outra característica-chave do setor de *software* – tipicamente uma indústria organizada em rede – reside nas economias de escala das próprias redes. Quanto maior o número de usuários, maior a utilidade da rede e maior sua capacidade de atrair mais participantes. Esse *feedback* positivo fortalece ainda mais as tecnologias ou padrões que se tornaram dominantes no mercado. As redes com poucos usuários tendem a desaparecer, enquanto aquelas que despontam como vencedoras tendem a dominar todo o mercado. O êxito alimenta-se a si mesmo, produzindo um círculo virtuoso conhecido como a lógica “o vencedor leva tudo” (SHAPIRO e VARIAN, 1999).

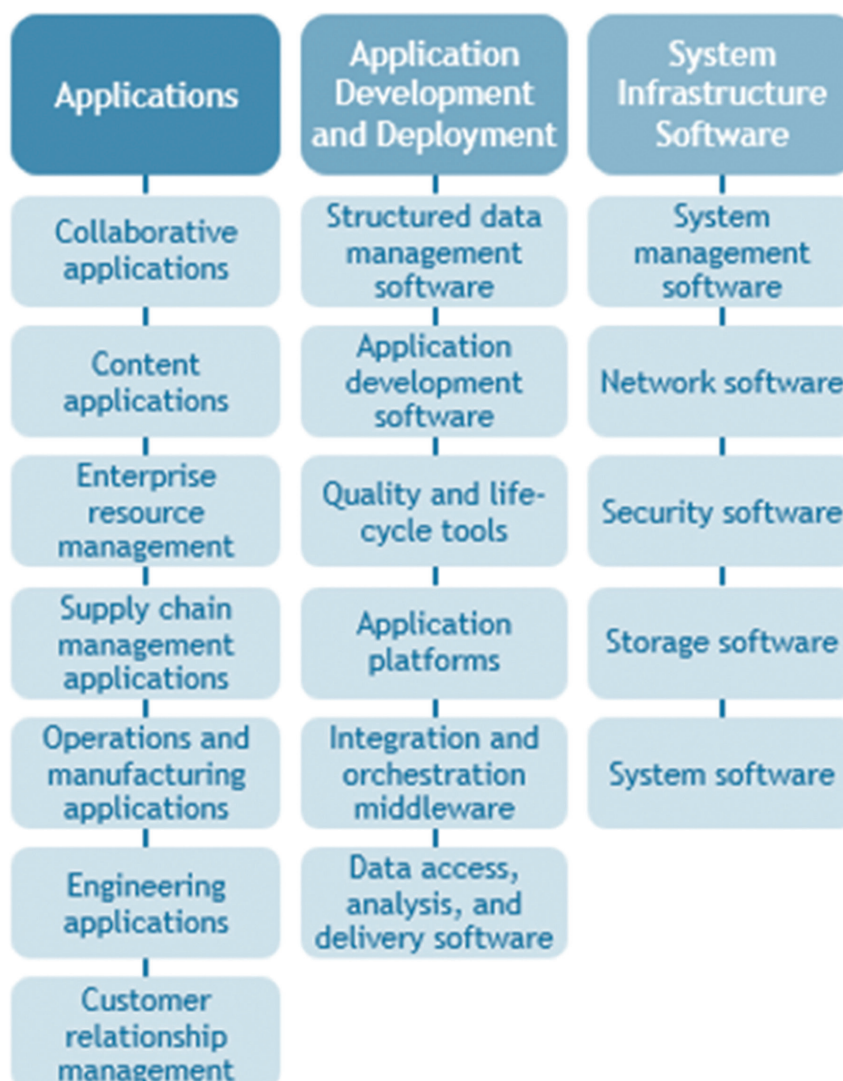
O *feedback* positivo tem importantes implicações para a indústria mundial de *software*, especialmente para os *software*-produto. Poucas empresas dominam o mercado global de plataformas e sistemas operacionais para produtos de massa. Mesmo em nichos específicos, o *software*-produto tende a se concentrar em poucos fornecedores globais. Tal oligopólio foi consolidado com o surgimento do micro-computador e a subsequente guerra de padrões em sistemas operacionais para *smartphones*. Diante da necessidade de garantir a compatibilidade e a comunicação entre programas aplicativos, o mercado acabou por selecionar plataformas e padrões, que se tornaram dominantes.

O surgimento de *startups* inovadoras ou a entrada de grandes empresas de outros segmentos da indústria no mercado de *software* podem alterar a estrutura de mercado. Exemplo disso foi o sucesso do sistema operacional Android para *smartphones* da Google que, ao ser aberto gratuitamente para novos fabricantes selecionados, dominou em poucos anos um mercado anteriormente controlado pelas empresas de *hardware*.

Em contraposição, o predomínio de padrões proprietários em sistemas operacionais tem gerado assimetrias entre os fornecedores de *software*, acentuando a tendência concentradora. O acesso ao código-fonte, que permite o desenvolvimento de aplicativos por empresas independentes, tem sido dificultado por práticas de integração vertical por meio de pacotes. Ao embutir em um mesmo pacote uma ampla gama de aplicativos que alternativamente seriam fornecidos separadamente por empresas independentes, o proprietário do padrão unifica e concentra o mercado de *software*. Ao fornecer um pacote completo ele evita que os clientes procurem outros fornecedores para complementar suas necessidades. Assim como os supermercados vendem “de tudo” para evitar a dispersão dos clientes, as grandes empresas de *software* formatam pacotes com uma ampla gama de aplicativos visando a criar barreiras para entrantes independentes, alijando pequenas empresas concorrentes.

O IDC, considerada a principal consultoria econômica do setor, divide o mercado primário de *software* em três segmentos básicos: aplicações; desenvolvimento e implementação de aplicações; e *software* de infraestrutura. Tal taxonomia, elaborada em 2016, é reavaliada anualmente. Esses três segmentos compõem o mercado mundial de *software* e podem ser decompostos em 18 agregações de *softwares* comerciais, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Taxonomia do mercado de *software*



Fonte: IDC (2016).

No presente documento, o foco setorial de *software* foi centrado em três segmentos-chave: *softwares* de gestão, *softwares* de controle avançado da produção e *big data* e *data analytics*, que serão detalhados a seguir.

1.2.4.1 Softwares de gestão

O principal *software* orientado para gestão de empresas é o ERP (*Enterprise Resource Planning*), em geral formado por pacotes modulares de *software* comercial ou de serviços de *software* que visam a dar suporte à maioria dos processos empresariais (compras, vendas, fabricação, finanças, recursos humanos etc.) (PAVIN e KLEIN, 2013).

O ERP tem como objetivo automatizar a gestão das informações de forma holística e integrada, atendendo às seguintes características: modularidade, bancos de dados

integrado, integração completa entre módulos, flexibilidade, representação das melhores práticas administrativas e funcionamento em tempo real. Os principais módulos de ERP são: contabilidade, finanças, manufatura, produção, transporte, vendas e distribuição, recursos humanos, cadeia de suprimentos, relacionamento com clientes (CRM) e *e-business*.

A origem dos ERP remonta ao ano de 1967, quando era executado em *mainframes* e visava ao controle de insumos e ao planejamento da produção. O sistema vem sendo permanentemente renovado, sendo que a principal inovação atual reside na migração dos sistemas convencionais de ERP para a nuvem e inclui a mobilidade, trazendo benefícios tanto para os consumidores quanto para os desenvolvedores. Para os usuários, diminui a necessidade de preocupação com a infraestrutura de TIC, visto que passa a ser terceirizada, além de ter acesso automático às versões mais atualizadas de seu sistema. Para os fornecedores, aumenta a dependência dos clientes e facilita a prestação de serviços de manutenção, atualização e assistência técnica.

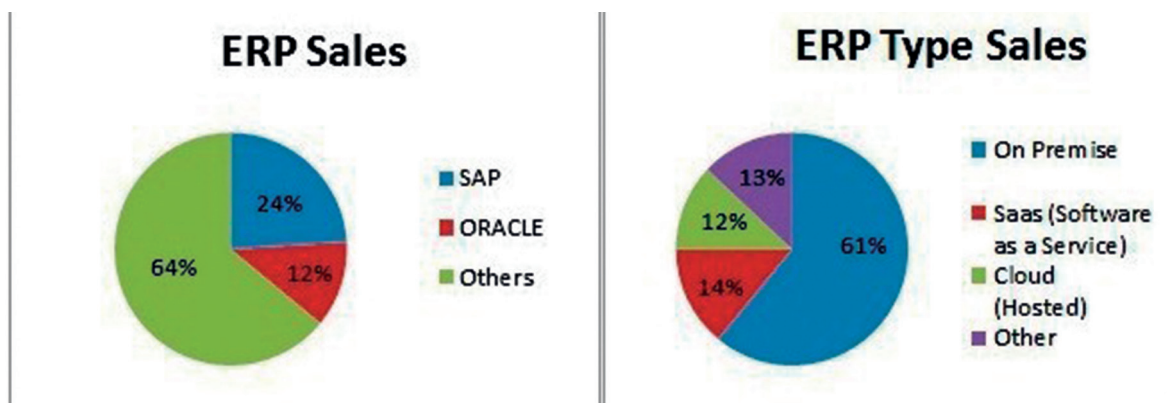
Inicialmente, apenas as grandes corporações tinham capacidade técnica e financeira para adotar os sistemas de ERP, mas com a evolução da tecnologia os pacotes tornaram-se acessíveis para empresas de qualquer porte. Hoje o mercado de empresas de grande porte já se encontra relativamente saturado, e as oportunidades de expansão se concentram nos segmentos de micro, pequena e médias empresas.

Diante de pressões competitivas, as empresas adotam ERP visando a diminuir seus custos ao longo da cadeia de valor, otimizar sistemas de suprimento, reduzir estoques, aumentar a variedade de produtos, melhorar a qualidade, providenciar serviços de entrega confiáveis, melhorar os serviços de pós-venda e melhorar a coordenação global com fornecedores, produtores e consumidores. Para Elmeziane (2012), os sistemas integrados de gestão permitem a reestruturação dos processos, favorecendo a *performance*, o aumento da eficiência de decisão, a redução nos custos de trabalho, a redução da burocracia e a redução de erros.

A implantação de um ERP não se resume à aquisição do *software*. Vários passos são necessários para que as empresas possam maximizar o benefício. Elmeziane (2012) aponta que muitas vezes é necessária uma reengenharia dos processos de negócios conjuntamente com a aquisição do *software*. Como os investimentos em ERP são de longo prazo e exigem aperfeiçoamentos continuados, é importante que os usuários possam contar com serviços regulares de suporte e manutenção.

A Figura 7 mostra quais são as empresas líderes nesse mercado: a alemã SAP e a norte-americana Oracle. No segundo escalão incluem-se Sage, Infor, Microsoft, Kronos e a brasileira Totvs, que detêm 2% do mercado mundial. Os sistemas instalados nos clientes ainda respondem pela maioria dos serviços, mas vêm perdendo terreno para SaaS e Nuvem. O mercado global de ERP é estimado em US\$ 40 bilhões por ano.

Figura 7 – Market share e principais formas de comercialização dos ERP



Fonte: Columbus (2014).

1.2.4.2 Softwares de controle avançado da produção

Sistemas avançados de manufatura (*advanced manufacturing systems* – AMS) ou sistemas de controle industrial (ICS) abrangem diversos tipos de dispositivos e *softwares* associados a tecnologias de controle de processos, incluindo *supervisory control and data acquisition* (Scada), *distributed control systems* (DCS) e outras configurações menores, como os programadores lógico programáveis (PLC) utilizados na supervisão de plantas e serviços de infraestrutura. Tais sistemas são utilizados principalmente em indústrias de processos contínuos, como produção de petróleo e gás e em serviços de distribuição de eletricidades e água, e controle de dados. Baseado em dados coletados em máquinas e pontos de controle, os comandos podem ser transmitidos para dispositivos remotos, permitindo automatizar a abertura e o fechamento de válvulas e disjuntores, monitorar o funcionamento dos equipamentos, equilibrar fluxos produtivos, acionar alarmes e tornar o ambiente industrial mais previsível e confiável.

Recentemente, avanços na manufatura avançada abrem caminho para a difusão de sistemas ciberfísicos (CPS), nos quais todas as informações relacionadas às operações físicas são sincronizadas e monitoradas *online* por sistemas computacionais. A Indústria 4.0 prevê a utilização de sistemas baseados na análise de dados coletados ao longo de redes produtivas visando a aumentar a colaboração homem-máquina e entre máquinas (M2M). Tal tendência ainda está em fase embrionária, devido à necessidade de padronizar e interconectar sistemas isolados, mas desenvolvimentos recentes nas tecnologias de sensores, atuadores, sistemas de aquisição de dados e redes de computadores com capacidade de análise de grandes volumes de dados têm criado condições técnicas e econômicas mais favoráveis à implantação desses sistemas. Cópias virtuais de plantas industriais permitem que se faça a otimização e o monitoramento de processos produtivos à distância.

Novos algoritmos de *software* permitem dotar as máquinas de capacidade para “aprender” com base em séries de dados heterogêneos relacionados com a prática ou com eventos reais e, a partir do aprendizado automático, tomar decisões autônomas. Observa-se nos sistemas avançados de manufatura uma forte tendência de servitização, com base nos conceitos de arquitetura orientada para serviços (SOA), computação em nuvem e IoT (TAO, 2014).

Os principais provedores de tecnologias de automação e controle avançado da produção são empresas especializadas em sistemas de automação industrial, como Siemens, ABB, Honeywell, Rockwell Automation, NachiFujikoshi, Emerson, GE, além de novas entrantes chinesas, como Siasun, Midea, HIT, Sciyon, Step. Tais empresas fornecem *hardware* e *software*, e eventualmente o próprio serviço de monitoramento e controle. Empresas fornecedoras de *software* de gestão também oferecem módulos de controle de produção integrados aos sistemas ERP. Empresas independentes de *software* e sistemas de automação atuam principalmente no desenvolvimento de módulos e soluções customizadas ou na prestação de serviços de implementação e integração.

Há, portanto, espaço crescente para o crescimento de *startups* e PME que se mostrem capazes de customizar soluções. Assim, o mercado de sistemas avançados de manufatura tende a ser segmentado verticalmente segundo o setor usuário. A China representa o maior mercado mundial para sistemas de automação, e também o de mais rápido crescimento. Segundo a Steiler Technologies (2017) o mercado chinês representa 45% do mercado global e deverá atingir 50% em 2020.

1.2.4.3 Big data e data analytics

O *big data* permite a análise de grande volume de dados operacionais e de fontes multimídia geradas por sistemas como redes sociais, cartões de crédito, geolocalizadores e IoT. Essa ferramenta pode ser entendida de acordo com duas finalidades, armazenamento (*big data storage*) e analítica (*big data analytics*), ambas dependentes de grande capacidade de processamento e da computação em nuvem, as quais não existiam anteriormente, embora muitos algoritmos hoje explorados datem de várias décadas atrás.

A análise de *big data* permite que as empresas conheçam melhor as preferências dos seus consumidores e constitui forte instrumento para ações de *marketing*, customização e personalização de produtos e serviços, redução de custos de manutenção e outros custos operacionais. O *data analytics* utiliza ferramentas orientadas ao desenvolvimento de algoritmos customizados para diferentes atividades, e sua implementação exige grande esforço prévio de padronização, integração e organização de sistemas e bancos de dados.

No âmbito da manufatura, o *data analytics* pode utilizar tecnologias associadas à inteligência artificial, como o *machine learning* (ML), que oferece aos computadores a capacidade de aprender sem serem explicitamente programados. O ML busca construir algoritmos capazes de aprender com dados estatísticos, fazer previsões e tomar decisões, superando as limitações da programação tradicional baseada em instruções estáticas. O ML está relacionado à estatística computacional e à otimização matemática, disciplinas que fornecem as teorias e métodos utilizados no desenvolvimento de aplicações.

A oferta de *softwares* e sistemas de *big data* e *data analytics* está sendo incorporada por fornecedores de *software* e também por *startups* especializadas verticalmente, e ainda não configura um segmento de mercado independente. Dentre os principais sistemas, encontramos o OpenAI (ElonMusk), Watson (IBM), TensorFlow (Google) e CNTK (Microsoft).

1.2.5 Evolução e perspectivas dos dispositivos de acesso e dos *displays*: padrões e concorrência, impactos de inovações sobre mercados e modelos de negócio

A convergência entre aparelhos de telefonia móvel e computadores pessoais vem resultando na emergência de uma indústria unificada de dispositivos de acesso à Internet que agrupa *players* que operavam anteriormente em apenas um desses segmentos. As fronteiras entre diferentes mercados vêm diminuindo, dando origem a um novo ambiente competitivo que reúne *hardware*, *software* e serviços. O processo de convergência tem levado as empresas líderes a alavancar e ampliar novas competências, de modo a se adaptar a essa reconfiguração da cadeia de valor.

Os *smartphones* vêm substituindo os telefones celulares convencionais e avançando sobre o mercado de *notebooks* e *tablets*, por serem portáteis e especialmente projetados para operar na Internet. Em 2012, as vendas de *smartphones* superaram pela primeira vez, em volume, as vendas de PC, uma tendência que vem se acentuando nos últimos anos. A IDC estima que atualmente 87% dos dispositivos conectados à Internet são *smartphones*. Além dos tradicionais serviços móveis de voz, imagens e mensagens, os *smartphones* rodam uma extensa gama de aplicativos e serviços associados à Internet, incluindo *e-mail*, geolocalização, *streaming* de música e vídeo, redes sociais, TV e pagamentos *online*.

Novas tecnologias de rede, como a telefonia 5G, prometem aumentar significativamente a velocidade de transmissão, dando continuidade a uma trajetória de transformação de um recurso escasso (espectro de frequências) em um recurso praticamente ilimitado. Operadoras de telefonia móvel já lançaram a tecnologia Gigabyte LTE, embrião do 5G. Fornecedores de *chips* para *smartphones*, como a Qualcomm, já estão avançados no desenvolvimento de novas gerações de processadores e sistema sem *chip* (SoC) para vários tipos de aparelhos, desde telefones móveis até veículos conectados.

O padrão de competição típico da indústria de dispositivos de acesso consiste na formação de plataformas tecnológicas dominantes, visando a fidelizar usuários em um ambiente único (*lock-in*). As estratégias de fidelização das empresas incluem oferta de aplicativos e características técnicas novas e diferenciadas. Um exemplo dessas estratégias é a crescente mixagem com o mercado de serviços. Por exemplo, a Apple e a Microsoft começam a competir com a Netflix, a Amazon e o YouTube na criação de conteúdo original *online*. As consequências já são visíveis no mercado de TV paga, que vem sendo engolido por serviços *online* como o Netflix e Google TV.

Entrar no mercado de TV digital se tornou fácil para provedores de conteúdo como a Hulu, controlada pela Walt Disney, 21st Century, Discovery, Fox e Time Warner. Serviços e produtos são pensados de forma cada vez mais integrada em plataformas que constituem ecossistemas abrangendo camadas de produtos e serviços, redes de usuários e parceiros tecnológicos. A configuração dessas plataformas concorrentes depende dos respectivos sistemas operacionais utilizados. Nos PC, a Microsoft é dominante graças à difusão do sistema Windows que, mesmo existindo alternativas gratuitas, como o Linux, se tornou um padrão para o setor. Os investimentos já realizados pelos clientes no aprendizado e uso de suas ferramentas desestimulam mudanças e reforçam as economias de rede.

Na telefonia celular, um novo entrante, Android, deslocou os sistemas operacionais preexistentes e passou a deter uma participação estimada de 85% do mercado (Figura 4). Ao contrário dos PC, em que o sistema operacional é uma escolha do usuário final, nos *smartphones* eles são escolhidos pelo fabricante do dispositivo. O Android, de propriedade da Google, apresenta a vantagem de ser gratuito e mais aberto para incorporar aplicativos de terceiros. O sistema iOS da Apple ocupa o segundo lugar, com 11% dos usuários, uma posição associada à fidelidade da marca. Os demais sistemas, como o Symbian da Nokia, o RIM da Blackberry e o Windows Phone da Microsoft, foram praticamente excluídos do mercado, pois não conseguiram se sustentar após o fenômeno Android.

1.2.5.1 Smartphones

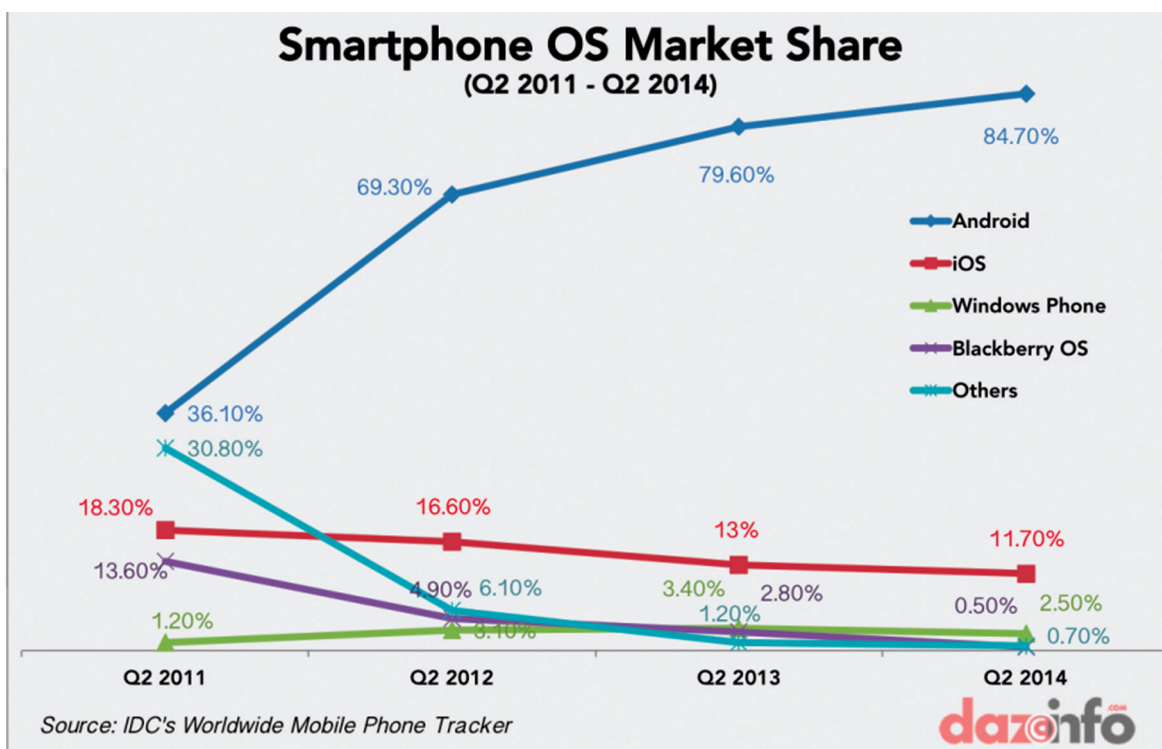
A indústria de *smartphones* se defronta com maiores oportunidades, mas também tem mais incerteza tecnológica e instabilidade, devido ao processo mais intenso de inovação. A posição única do *smartphone* na vida das pessoas, cada vez mais turbilhado por aplicativos e serviços, tornou-o o instrumento favorito de acesso à rede. As projeções da BI Intelligence anteveem um ritmo firme de crescimento de 6% ao ano entre 2016 e 2021, alcançando-se um estoque global de 2,1 bilhões de aparelhos. O *smartphone* está se tornando a interface *default* para os *wearables and proximity devices* (WPD) que articulam os seres humanos entre si e “as coisas”. Inúmeras aplicações vêm

surgindo para integrar os WPD na vida cotidiana e profissional, especialmente a IoT, conectando cada vez mais atividades.

Apesar do crescimento das tecnologias vestíveis, como *smartwatch* e *smartglasses*, o *smartphone* lidera a corrida para ser a ferramenta universal de acesso à Internet, pois já está incorporado ao cotidiano dos usuários. Isso cria oportunidades não só para fabricantes de aparelhos, mas também para tecnologias complementares, desenvolvedores de conteúdo, soluções de segurança, operadores móveis, sistemas de coleta, tratamento e análise de informações.

A estrutura da indústria de *smartphones* passou recentemente por grandes transformações. Até 2012, era dominada por Nokia, Palm/HP, Motorola, Ericsson e Blackberry, empresas pioneiras que foram afetadas por novos entrantes, oriundos do mercado de PC (Apple, Samsung), provedoras de serviços *online* (Google), além de fabricantes chineses de eletrônicos de baixo custo (Huawei, Vivo e OPPO). Os novos líderes no mercado inovaram em produtos e serviços e foram capazes de formar plataformas tecnológicas mais consistentes com base na convergência tecnológica, como se pode ver na Figura 8.

Figura 8 – Participação dos sistemas operacionais no mercado de *smartphones*, 2011/2014 (em %)



Fonte: IDC (2014).

A Samsung lidera o mercado, com quase um quarto das vendas globais, utilizando o sistema Android da Google, conforme mostra a Tabela 5. A Apple aparece em segundo lugar, com um sistema operacional próprio e exclusivo, focando no segmento superior do mercado. As três posições seguintes são ocupadas por empresas chinesas que atuam no emergente mercado asiático. A Huawei é a maior provedora mundial de equipamentos de telecomunicações e aspira repetir esse desempenho no mercado de *smartphones*. A OPPO é a empresa de celular com maior crescimento no mundo, atuando principalmente na China, no Sudeste da Ásia e na Índia. Compete diretamente com o iPhone SE da Apple, projetado para atender ao segmento inferior do mercado. A vivo também apresenta rápido crescimento no mercado asiático, com produtos orientados para o público jovem. Dentre as demais concorrentes em ascensão, destacam-se a Lenovo (China) e a LG (Coreia). A finlandesa Nokia, que até pouco tempo liderava o mercado global com seu sistema operacional Symbian, foi praticamente varrida do mercado.

Tabela 5 – Marketshare dos cinco maiores fornecedores de *smartphones*, 2017 (em %)

Fornecedor	Marketshare %	Características
Samsung	23,3	Coreana, foco em <i>hardware</i> e serviços pós-venda. Integração vertical em componentes e produtos. Líder em novas tecnologias de <i>displays</i> .
Apple	14,7	<i>Hardware</i> proprietário (produção terceirizada) integrado a serviços <i>online</i> .
Huawei	10,0	Líder na China, fabrica dispositivos de baixo custo.
OPPO	7,5	Chinesa, fabricante de <i>smartphone</i> de baixo custo de maior crescimento no mundo.
Vivo	5,5	Chinesa, voltada para a população jovem em países emergentes.
Outros	39,0	Lenovo, LG, Nokia, Motorola.

Fonte: IDC (2017a).

Os operadores de telecomunicações exercem grande influência na indústria de *smartphones*, ao subsidiar sua compra pelos assinantes em troca de um contrato anual de serviços. Empresas como AT&T e Verizon não apenas operam grandes redes, como também oferecem conteúdo, aplicativos e *hardware*, adotando uma estratégia de *one-stop shopping*. A venda casada de produtos e serviços constitui uma estratégia de *lock-in* que impõe dificuldades aos fabricantes de *smartphones* sem vínculos com as operadoras.

Há também uma questão regulatória associada ao *lock-in*, que é a aceitação, pelo órgão regulador americano (FCC), de diferentes padrões de redes incompatíveis entre si (GSM, CDMA etc.) funcionando simultaneamente. Esse fato acentua a possibilidade de *lock-in* devido à incompatibilidade entre determinadas redes e dispositivos de

acesso. A definição de um padrão aberto único pelos órgãos reguladores, como ocorreu no protocolo IP para a Internet, geraria mais competição e menos aprisionamento de usuários.

Nos próximos cinco anos, na medida em que se dissemine o sistema 5G, os *smartphones* deverão ganhar novas características e funcionalidades, que podem favorecer o crescimento das vendas. Especialistas identificam as seguintes tendências principais: uso de realidade aumentada, que permitirá identificar alguma coisa viva e obter informações sobre ela; telas flexíveis, que poderão ser dobradas e desdobradas para o tamanho de um *tablet*, utilizando tecnologia Oled; projetores embutidos para vídeos e fotos na parede, ou a projeção em uma mesa de um teclado virtual sensível ao toque, comandos de voz mais eficientes, precisos e informais, com uso de inteligência artificial; autenticação de identidade, facilitando pagamentos e substituindo chaves e dispositivos de segurança.

1.2.5.2 Computadores pessoais (PC)

A indústria de PC é considerada madura para o mundo digital. As vendas globais estão em declínio desde 2008, quando atingiram o pico de 300 milhões de unidades. Em 2016, as vendas de *desktops* e *notebooks* representaram 260 milhões de unidades, uma queda de 5,7% em relação ao ano anterior. Considerando que os preços unitários também estão em queda, as empresas buscam diversificar a produção para incluir *smartphones*, dispositivos vestíveis, além de customizar equipamentos para diferentes aplicações.

A demanda por PC móveis foi alavancada a partir de 2009, com o lançamento dos *tablets*, e logo em seguida experimentou acirrada concorrência entre o iPad da Apple e o GalaxyTab da Samsung. Equipamentos mais simples e de menor custo de Amazon, Google, Microsoft, com telas de 7", também vêm se difundindo rapidamente. Os *tablets*, entretanto, representam uma pequena parcela do mercado e, apesar do grande interesse inicial dos consumidores, não se configuram como um formato dominante para acesso.

O enfraquecimento do mercado de PC está associado a dois fatores. O primeiro é à relativa maturidade do produto, que já atingiu níveis considerados satisfatórios pelos usuários em termos de memória e capacidade de processamento, após décadas de rápida evolução dos componentes-chave (processadores e memórias), segundo a Lei de Moore. Isso levou a um aumento do ciclo de vida do produto, pois na falta de inovações úteis os usuários preferem manter seus equipamentos em funcionamento. O segundo fator é a concorrência dos *smartphones*, que passaram a concentrar o acesso móvel a aplicativos na Internet.

A Tabela 6 apresenta as vendas globais de PC e o respectivo *market share* global. A chinesa Lenovo (que adquiriu a divisão de PC da IBM) lidera, seguida por marcas tradicionais norte-americanas, embora os equipamentos não sejam necessariamente fabricados nos Estados Unidos. Observa-se que apenas HP e Dell conseguiram aumentar suas vendas em 2016.

Tabela 6 – Vendas globais e *marketshare* dos cinco maiores produtores de PC, 2016 (em %)

Fornecedor	Vendas 2016 (mil unidades)	Marketshare 2016	Vendas 2016/2015
1. Lenovo	55.502	21,3%	- 3,0%
2. HP Inc	52.290	20,9%	+ 1,3%
3. Dell Tech.	40.731	15,7%	+ 4,3%
4. Asus	19.203	7,4%	- 0,8%
5. Apple	18.446	7,1%	- 9,8%
Outros	72.012	27,7%	- 16,4%
Total	260.183	100%	- 5,7%

Fonte: Elaboração própria com base em dados de IDC (2017b).

Apesar de estar perdendo terreno para os *smartphones*, a tecnologia dos *laptops* e *notebooks* continua evoluindo de forma a incorporar novas funções, algumas das quais também utilizadas pelos dispositivos móveis. Os novos lançamentos deverão incorporar comandos de voz, Bluetooth para comunicação sem fio, novos teclados e telas, e integração com *headsets* para uso em realidade aumentada.

No campo dos processadores, o domínio da Intel vem sendo contestado pela AMD e os novos processadores Ryzen de maior velocidade. Observa-se também a utilização da arquitetura ARM, inicialmente projetada para *smartphones*, em *desktops* e *laptops*. Os *desktops* continuam sendo o principal dispositivo de acesso utilizado por empresas, graças a sua maior confiabilidade, facilidade de digitação e segurança em relação aos *smartphones*, *tablets* e *laptops*.

1.2.5.3 O segmento de displays

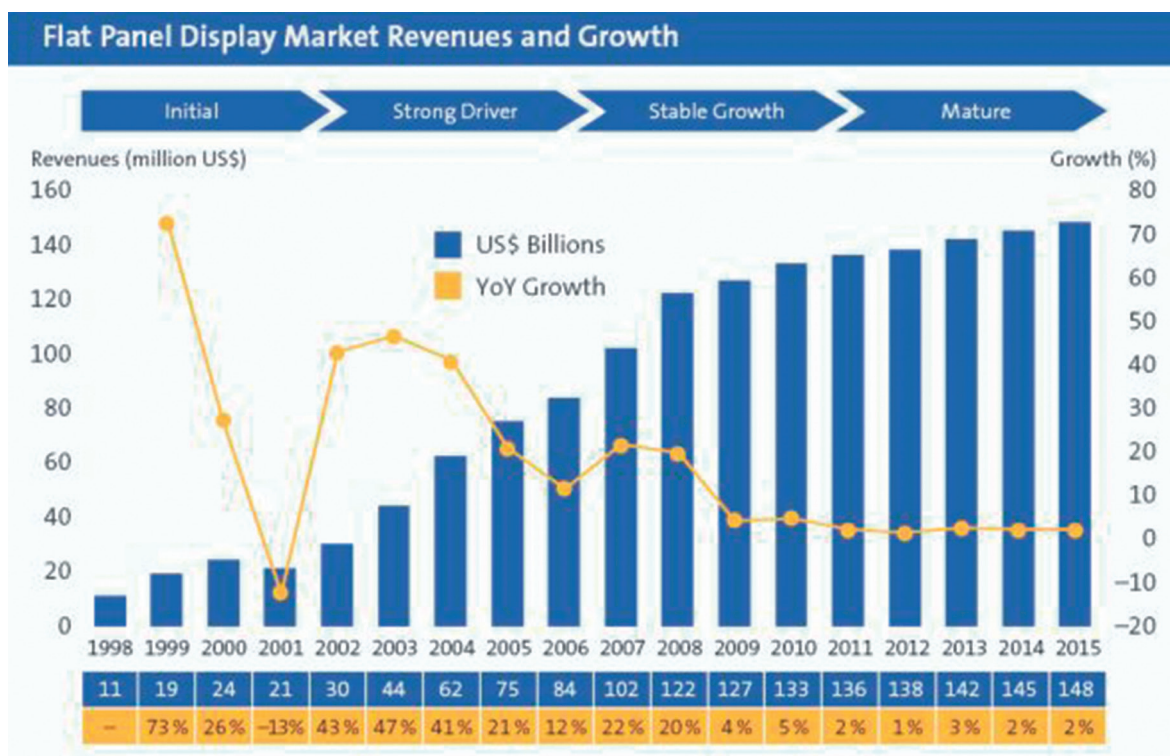
A produção de *displays* eletrônicos é uma atividade economicamente importante, dada a crescente difusão de dispositivos fixos e móveis de acesso às tecnologias da informação, terminais de consulta, TVs e outros equipamentos que utilizam telas. Nos últimos 20 anos, o desenvolvimento dessa indústria vem sendo impulsionado

por ciclos tecnológicos no processo de manufatura e pelo uso de novos materiais, que desencadearam inovações em produtos e investimentos em novas plantas industriais.

As três grandes áreas de aplicação de *displays* são os chamados três c: computadores, consumo e comunicações. Outros mercados menores incluem o automotivo e as diversas aplicações em máquinas, equipamentos e artigos de consumo. Os diferentes mercados vêm alternando sua importância relativa como polo dinâmico da indústria. Nos seus 15 primeiros anos de existência, a indústria de LCD (*liquid crystal devices*) foi dominada pelas aplicações em monitores para computadores que, até 2006, representavam a principal fonte de receita.

A partir daí observa-se o rápido crescimento da LCD-TV, devido à substituição dos aparelhos com CRT (tubos catódicos) e o advento da digitalização da TV aberta (por *broadcast*). Em 2010 as vendas de LCD-TV atingiram um pico histórico de US\$ 55 bilhões, mas começam a retroceder desde então. Atualmente, o segmento que mais vem crescendo é o de dispositivos móveis, dividido entre TFT-LCD e Amoled. A indústria interrompeu o ritmo acelerado de crescimento após a crise mundial de 2008-2009 (Figura 9) e do esgotamento das janelas de oportunidade abertas pela TV digital. Um novo ciclo de crescimento depende do processo de difusão de inovações radicais, como o Oled.

Figura 9 – Evolução do mercado de telas planas, 1998/2015 (em US\$ milhões e %)



Fonte: IDC (2017b).

A demanda por *displays* é hoje alavancada por novos *smartphones*, capazes de mostrar vídeos e dados com melhor resolução, ângulos mais amplos de visão, espectro mais abrangente de cores e telas leves e finas que consomem menos energia. Tais aplicações requerem projetos customizados que permitam aos fornecedores de telas diferenciarem seus produtos para fugirem da competição por preços.

Até o início dos anos 1990, o Japão concentrava mais de 90% da produção mundial de *displays*, graças à liderança da Sharp, NEC, Sony e Panasonic no mercado de bens finais. A ruptura da bolha japonesa de 1991, entretanto, interrompeu o ciclo de investimentos em novas plantas, e as empresas decidiram adaptar as fábricas existentes para dispositivos de maior valor agregado, como o *polysilicon* TFT-LCD de baixa temperatura, utilizado em telas pequenas para celulares.

A crise japonesa abriu oportunidades para as empresas coreanas e taiwanesas que haviam acumulado capacitação tecnológica e se desempenhavam bem na montagem de produtos finais. Os principais fatores determinantes da realocação global da indústria foram a capacitação obtida na produção de bens eletrônicos de consumo, os menores custos de P&D da Samsung e LG em relação aos fabricantes japoneses e norte-americanos, e a capacidade de reunir o capital necessário para investir em fábricas no estado da arte.

Taiwan se aproveitou da crise coreana de 1997 para entrar no mercado de *displays* utilizando sua capacitação tecnológica na produção de semicondutores e sua bem-sucedida atuação no mercado de OEM e ODM. Junto com a Coreia, dominam hoje mais de 80% da produção mundial de *displays*, enquanto a participação japonesa caiu para menos de 10%. Coincidentemente, os fabricantes japoneses de bens eletrônicos de consumo também perderam a competitividade. A China, por sua vez, vem aumentando sua participação e se posiciona como terceiro maior produtor, após Coreia e Taiwan. As empresas de Taiwan e China contam com vantagens importantes em termos de capacidade de integração de subconjuntos em larga escala e alta qualidade, assimilação rápida de novas tecnologias e experiência prévia na produção de semicondutores.

Hoje praticamente não há produção de *displays* fora da Ásia. Algumas produtoras europeias e norte-americanas o fazem por meio de subsidiárias e *joint ventures* na região. As empresas coreanas lideram a corrida tecnológica, dominando o ciclo produtivo completo (de *chips* semicondutores aos painéis de dimensões maiores) e ocupando a fronteira do estado-da-arte. Analistas acreditam que a Samsung abriu um hiato tecnológico de pelo menos dois anos no desenvolvimento da nova tecnologia Oled. O fato de dominar tanto a tecnologia atual quanto a futura permite à empresa modular o ritmo de difusão de inovações segundo seus interesses econômicos e estratégicos.

1.2.5.4 Servidores e computadores de alto desempenho

A computação de alto desempenho ou HPC (*high performance computers*) é baseada na agregação de vários processadores em *Clusters* que trabalham conjuntamente visando a proporcionar um desempenho mais eficiente, se comparado a *workstations* e servidores comuns. Busca solucionar problemas relacionados a operações complexas e recorrentes, como previsão do tempo, modelagem molecular, simulações de física e mecânica quântica, *machine* e *deep learning*. Novas aplicações estão relacionadas a inovações disruptivas, visando a resolver problemas associados à simulação e à análise de padrões complexos. Utiliza um conjunto de tecnologias de algoritmos, redes neurais e configurações de *hardware* que variam de pequenos a grandes *Clusters*.

O mercado de computação de alto desempenho está crescendo em computação científica, por meio da oferta de soluções flexíveis e de custo relativamente mais baixo do que as soluções convencionais. Os HPC têm seu futuro associado ao desenvolvimento da inteligência artificial e do aprendizado de máquina (*machine learning*). Também são previstas novas aplicações, como assistentes virtuais ubíquos e veículos autônomos. Tais aplicações não são automações pontuais, pois envolvem redes complexas de sensores e processadores que operam de forma integrada e combinam grande volume de informações.

Observa-se, por parte dos fornecedores de HPC, um grande esforço para desenvolver aplicações comerciais na *web* que proporcionem maiores escalas e aumento de vendas. A demanda por computação de alta velocidade vem sendo impulsionada pelos avanços na computação em nuvem, *big data*, inteligência artificial e processadores embarcados associados à IoT. Os principais setores e usuários são: comunicações, defesa e segurança, jogos e biotecnologia.

As principais empresas que atuam no mercado de computação de alto desempenho são IBM (Watson), HP, Intel, Microsoft, Cisco, AMD, Bull, Dell, Oracle e NVIDIA. Trata-se essencialmente de um segmento *high end* da indústria e não configura um setor independente. As empresas fornecedoras vêm buscando encomendar *chips*-processadores que confirmam maior capacidade, velocidade, confiabilidade, precisão e estabilidade aos supercomputadores. Busca-se identificar *killer-applications*, que permitam maiores escalas de produção e crescimento sustentado de vendas. Uma das principais apostas é o aprendizado de máquina, especialmente algoritmos de aprendizado em redes neurais de grandes e pequenos *data centers*. A competição tende a se acirrar com as empresas que estão desenvolvendo processadores como o *Tensor Flow* da Google, especializados para executar os algoritmos de IA, mais eficientemente do que os processadores *multi-core* de propósito geral.

Outras possibilidades de aplicação em escala incluem serviços nacionais de inteligência, serviços de diagnóstico por imagem de tumores cancerígenos, serviços de

monitoramento de veículos autônomos e monitoramento da operação de máquinas autônomas. Também encontram aplicações na pesquisa de novos medicamentos, análises financeiras, exploração de óleo e gás etc. A pressão decorrente da difusão de IoT, *big data*, robótica avançada, além do potencial dos veículos conectados demandarão a diversificação de sistemas de alto desempenho com mais capacidade e preços acessíveis. O *software* necessário para rodar tais aplicações demandará sistemas de HPC cada vez mais complexos e customizados, abrindo mercado para empresas especializadas em segmentos verticais. A IBM, por exemplo, com base no seu sistema-Watson, tem concentrado esforços em determinadas verticais, para obter economias de escala.

1.3 Panorama no Brasil

1.3.1 Principais mudanças em curso, tensões concorrenciais sobre estruturas de mercado, lideranças empresariais e modelos de negócio

No Brasil, o mercado de tecnologia da informação, incluindo *hardware*, *software*, serviços e exportações de TI, movimentou US\$ 39,6 bilhões em 2016, representando 2,1% do PIB brasileiro e 1,9% do total de investimentos de TI no mundo. Excetuando-se as exportações, o mercado total de TI foi da ordem de US\$ 38,5 bilhões. Desse valor, US\$ 8,475 bilhões vieram do mercado de *software* e US\$ 10,227 bilhões do mercado de serviços, sendo que a soma desses dois segmentos representou 48,5% do mercado total de TI (Tabela 7).

Tabela 7 – Produção total de TIC, Brasil, 2016 (em US\$ milhões)

SEGMENTAÇÃO DE MERCADO <i>Market Segmentation</i>	MERCADO DOMÉSTICO <i>Domestic Market</i>	MERCADO DE EXPORTAÇÃO <i>Export Market</i>	MERCADO TOTAL <i>Total Market</i>
SOFTWARE <i>Software</i>	8.475	177	8.652
SERVIÇOS <i>Services</i>	10.227	499	10.726
HARDWARE <i>Hardware</i>	19.844	349	20.193
SUBTOTAL TI <i>IT SUBTOTAL</i>	38.546	1.025	39.571
TELECOM <i>Telecom</i>	51.344	–	51.344
TOTAL TIC <i>ITC TOTAL</i>	89.890	1.025	90.915

Fonte: ABES (2017).

O Brasil representa o principal mercado de TIC da América Latina, com um *market share* estimado em 36%. Em termos globais, o país ocupa a décima posição, com base

na produção agregada de *hardware*, *software* e serviços. A importância do mercado nacional revela o estágio relativamente avançado de difusão das TIC entre usuários de diferentes setores econômicos, oferecendo escala e escopo para atração das principais empresas globais do setor. Novas tecnologias, como a IoT e 4.0, abrem possibilidades de expansão da indústria para atender a atividades econômicas que requerem equipamentos, *softwares* e serviços especialmente projetados em função de demandas locais idiossincráticas, tais como as da agropecuária, MPE, exploração de petróleo em águas profundas, setores da indústria e o setor de serviços intensivos em conhecimento.

O crescimento do setor de TIC no Brasil é sustentado pelo de *software* e serviços, enquanto a produção de *hardware* vem declinando sua produção desde 2013, quando atingiu seu pico de faturamento em dólares (Tabela 8). A demanda nacional por *hardware* vem sendo atendida crescentemente por importações, e a queda na produção local ocorre principalmente em computadores *desktops*, *notebooks* e *tablets*. Já a oferta de telefones celulares tem conseguido manter o faturamento, em razão do aumento de vendas de *smartphones* de maior valor agregado. O segmento de equipamentos e sistemas para telecomunicações se sustentou até 2014, graças à expansão das redes 4G e aos investimentos realizados pelas operadoras para a Copa do Mundo e as Olimpíadas.

Tabela 8 – Faturamento da indústria brasileira de *hardware*, 2012/2017
(em US\$ milhões)

Indústria	2012	2013	2014	2015	2016	2017 ⁽¹⁾
Automação industrial ⁽²⁾	2.005	2.022	1.921	1.350	1.196	1.334
Componentes elétricos e eletrônicos ⁽³⁾	4.990	4.952	4.404	3.016	2.846	3.142
Equipamentos industriais	11.418	10.926	10.922	7.952	6.830	7.686
Informática	22.282	21.783	15.993	9.036	6.086	6.719
Telecomunicações	11.668	12.357	12.567	8.479	8.493	9.649

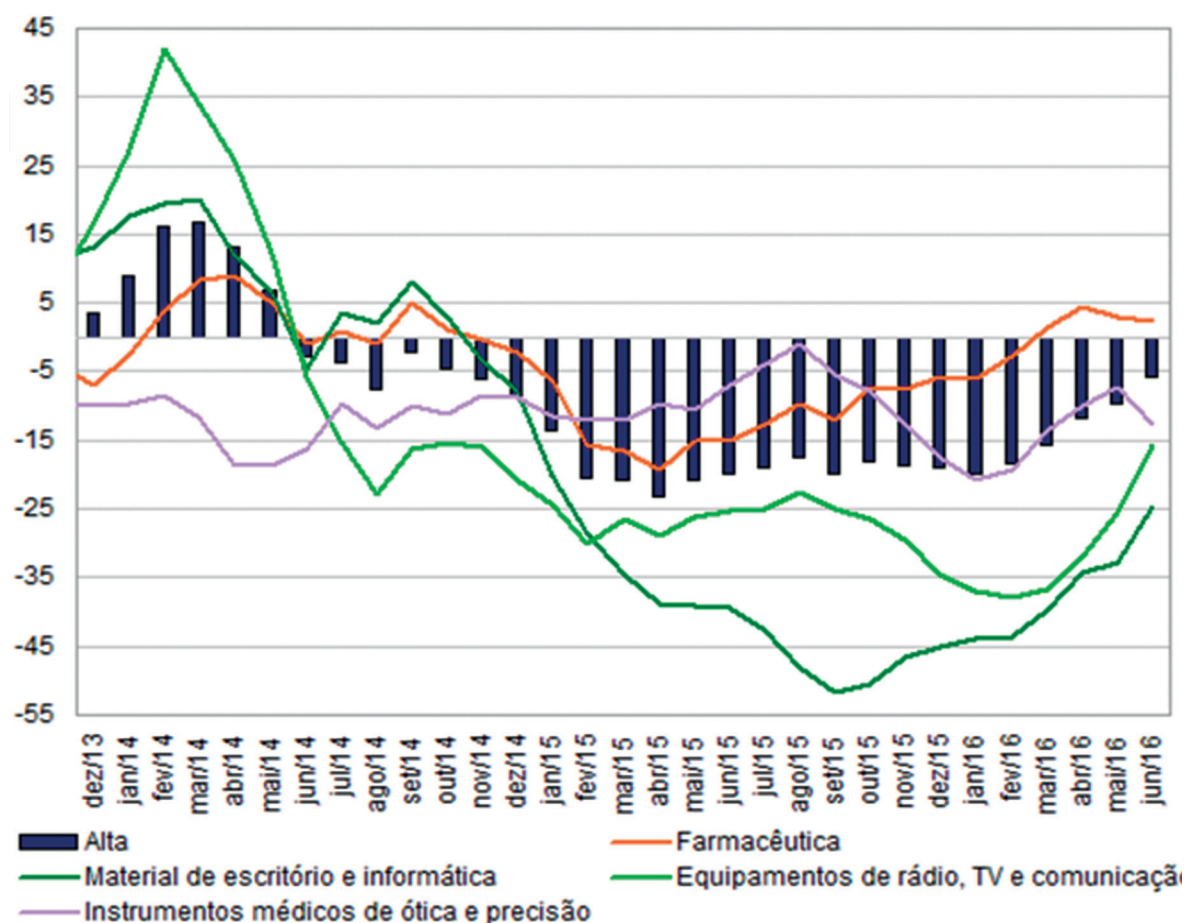
Notas: (1) Projeções atualizadas em setembro de 2017. (2) Inclui instrumentação e instrumentos eletromédicos. (3) Inclui motocompressores para refrigeração, eletrônica embarcada e partes e peças.
Fonte: Elaboração própria com base em dados da Abinee (2017).

As exportações de bens de informática somaram US\$ 349 milhões em 2016, devido, principalmente, às vendas de impressoras, cujas exportações atingiram US\$ 83 milhões. Trata-se de um valor pouco significativo e declinante, revelando as dificuldades competitivas enfrentadas pelos produtores locais e afalta de políticas firmes de apoio às exportações. Já as importações alcançaram US\$ 25,6 bilhões, exibindo retração conjuntural de 19% em relação às realizadas em 2015, devido à recessão econômica,

com quedas expressivas nas importações de equipamentos de telecomunicações, informática e automação industrial.

A Figura 10 mostra a variação percentual da produção de bens de alta intensidade tecnológica no Brasil nos últimos três anos. Pode-se notar que, apesar da tendência declinante, a produção de equipamentos de informática e de comunicação apresenta as maiores quedas, enquanto os produtos relacionados à área de saúde encontram maior sustentação no mercado.

Figura 10 – Produção da indústria de alta intensidade tecnológica, 2013/2016 (var. % da média móvel trimestral frente ao mesmo período do ano anterior)



Fonte: IEDI, com base em dados do IBGE.

O quadro de declínio da indústria nacional de *hardware* para TIC é, em parte, resultado da recessão econômica que afeta, desde 2014, o investimento e o consumo no Brasil. Entretanto, três outros fatores ajudam a explicar os problemas enfrentados pela indústria brasileira em longo prazo. O primeiro é a queda da importância relativa do

hardware em relação ao *software* e serviços em todo o mundo. Computadores são produtos considerados relativamente maduros e não apresentaram crescimento global de vendas desde 2008. O crescimento das TIC tem sido observado principalmente em serviços *online*.

A segunda causa do declínio da produção de *hardware* no Brasil é a tendência internacional de concentração da produção na Ásia. China, Taiwan, Coreia, Japão, Cingapura dominam hoje cerca de 90% da produção de computadores, devido às vantagens competitivas desenvolvidas ao longo das últimas três décadas. Além de menores custos de produção, logística eficiente e integração em cadeias globais, as gigantes Samsung, LG, Huawei, AOC, Foxconn, Lenovo, dentre outras, são reconhecidas como empresas inovadoras e das mais automatizadas do mundo, superando as tradicionais líderes japonesas, norte-americanas e europeias na produção da maioria dos segmentos de *hardware* para TI. Como resultado, as empresas multinacionais aqui instaladas vêm reduzindo a proporção de produtos manufaturados no Brasil em seu portfólio de produtos para o mercado local.

O terceiro fator é que a indústria brasileira de *hardware* carece de competitividade, tanto em termos operacionais quanto de inovação. As empresas presentes no país realizam apenas as etapas finais da montagem de equipamentos, em cumprimento ao processo produtivo básico (PPB). O segmento dinâmico, competitivo e inovador dos componentes eletrônicos que são montados no *hardware* final não está presente no Brasil, e sim em polos dinâmicos das operações transnacionais das mesmas empresas montadoras. Após quase quatro décadas de políticas públicas descontínuas, não se consolidou no país um polo integrado, competitivo e inovador. As importações de equipamentos eletroeletrônicos, que em 2012 atendiam a 21,6% do mercado brasileiro, subiram para 26,7% em 2017. Muitos produtores estão preferindo abrir mão dos incentivos fiscais para importar e revender equipamentos prontos, reduzindo o tempo necessário para introdução de novos produtos no mercado.

Dentre as empresas de *hardware* nacionais, podemos destacar a Positivo, que lidera o *ranking* das empresas de capital nacional no setor e possui 15% do *market share*. A empresa ampliou sua gama de produtos, com base em uma estratégia focada em *design*, preços competitivos e soluções voltadas para micro e pequenas empresas. A crise nos PC levou a Positivo a buscar maior participação no mercado de *smartphones* e equipamentos médicos, além de exportar. Os celulares ganharam espaço no faturamento da companhia e já representam 38,7% das receitas totais da empresa. A participação no mercado nacional desses dispositivos passou de 2,3% para 4,8%, graças à introdução de celulares mais sofisticados da marca Quantum.

Na área internacional, a Positivo tem operações na Argentina e no Quênia, onde fornece computadores e *tablets* a estudantes em programas públicos locais. Em 2017, a empresa alterou seu nome para Positivo Tecnologia para refletir sua nova estratégia de diversificação para outros dispositivos fora da informática, explorando

as oportunidades abertas por IoT, *big data* e inteligência artificial. A empresa licenciou a marca de *notebook* Vaio para participar do *higher end* desse mercado. A estratégia de buscar segmentos de maior crescimento vem dando resultado, permitindo que a Positivo apresentasse em 2016 um lucro líquido de R\$ 8,8 milhões, revertendo o prejuízo de R\$ 79,9 milhões sofrido no ano anterior. A Tabela 9 mostra as principais empresas de *hardware* com fábricas no país.

Tabela 9 – Empresas de *hardware* com fábricas no país, 2017

Empresa	Origem capital	Loc. Brasil	Produtos
LG	Coreia	Taubaté	Celulares, computadores.
Foxconn	Taiwan	Jundiaí, Itú	Centro de produção para a Apple iPhones e iPads.
Flextronics	Singapura	Sorocaba	Montagem terceirizada de câmeras GoPro e outros produtos eletrônicos.
Dell	Estados Unidos	Hortolândia	Computadores de mesa, <i>notebooks</i> e servidores.
Multilaser	Brasil	Extrema (MG)	<i>Smartphones</i> , <i>tablets</i> , módulos de memória e acessórios para computadores.
Positivo	Brasil	Curitiba, Manaus e Ilhéus	Computadores de mesa, placas-mãe, <i>tablets</i> , <i>notebooks</i> e <i>smartphones</i> .
AOC	Taiwan	Jundiaí e Manaus	Montagem de telas de LCD e LED, computadores <i>all-in-one</i> e <i>tablets</i> .
Samsung	Coreia	Manaus	<i>Smartphones</i> , <i>notebooks</i> , <i>tablets</i> , impressoras.
HP	Estados Unidos	São Bernardo do Campo, Manaus	Computadores e impressoras.
Lenovo	China	Itú, Manaus	Montagem de servidores, estações de trabalho, <i>notebooks</i> e <i>tablets</i> .
The LeadershipGroup	Brasil	Curitiba	Componentes e acessórios para informática.
Intelbras	Brasil	São José (SC), Sta. Rita Sapucaí (MG) e Manaus	Componentes e equipamentos para computadores, sistemas de segurança e telecomunicações.
Tecsys	Brasil	São José dos Campos	Equipamentos de telecomunicações para satélites e nano PC
Smart Modular Technologies	Estados Unidos	Atibaia (SP)	Montagem de módulos de memória e produtos como <i>solid state drives</i> .

Fonte: Elaboração própria.

A avaliação das atividades de inovação no Brasil para o sistema TIC (*hardware*) com base nos dados de intensidade geral de gastos com inovação (Tabela 10) mostra rarefação e indica riscos de obsolescência, dados os baixos investimentos na compra

de máquinas e equipamentos, a despeito da tentativa de atualização dos produtos por meio de atividades internas e externas de P&D. Apenas o setor de componentes eletrônicos destacou-se por investir 6,09% das vendas em inovação, principalmente na compra de máquinas e equipamentos (3,05%) e atividades de P&D interno (1,99%). Ainda assim, este percentual é baixo quando comparado aos padrões internacionais, superiores a 10% do faturamento das empresas.

Tabela 10 – Intensidade total de inovação segundo atividades, Brasil, 2014
(em % das vendas)

Atividades	Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	Componentes eletrônicos	Equipamentos de informática e periféricos	Equipamentos de comunicação
P&D interno	1,70	1,99	1,11	1,65
P&D externo	0,73	0,34	0,48	0,96
Outros conhecimentos externos	0,03	0,19	0,02	0,02
Software	0,05	0,22	0,02	0,04
Máquinas e equipamentos	0,39	3,05	0,20	0,31
Treinamento	0,03	0,06	0,01	0,03
Introdução de inovações no mercado	0,07	0,08	0,10	0,04
Projetos industriais e outras preparações técnicas	0,05	0,16	0,08	0,02
Total	3,06	6,09	2,02	3,07

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Pintec/IBGE.

Portanto, a despeito de o setor de TIC ser habilitador das transformações produtivas e de algum otimismo acerca das novas tecnologias disruptivas, a disseminação das inovações no Brasil tende a ser mais lenta, uma vez que enfrenta desafios de ordem estrutural, paradigmática e de cultura organizacional. Ainda assim, surgirão oportunidades, advindas da demanda derivada da difusão da IoT e da Manufatura 4.0 (além de *big data*, *analytics* e IA), que precisarão de sistemas e soluções customizadas para enfrentar desafios exclusiva ou preponderantemente brasileiros ou em áreas pouco atendidas por empresas globais. Essas oportunidades, porém, poderão ser desperdiçadas ou minimizadas na ausência de uma sólida estratégia nacional de longo prazo.

Dentre os principais desafios institucionais, destaca-se a perda da eficiência das políticas públicas. A Lei de Informática, por exemplo, foi desenhada quando a produção de *hardware* era a atividade mais importante das TIC e não apoia diretamente os segmentos

mais dinâmicos de *software* e serviços. A renúncia fiscal para o setor atingiu R\$ 5,7 bilhões em 2016, frente a um faturamento de R\$ 46 bilhões (12,4% do total). Apesar de haver incentivos, menos de 50% da oferta de *hardware* no país é beneficiada, pois muitas empresas preferem importar produtos prontos a se submeterem às regras do processo produtivo básico (PPB) e da exigência de investimentos locais em P&D, principalmente em produtos e sistemas complexos e intensivos em *software/serviços* nos quais o *hardware* tem peso relativamente pequeno no custo final.

Entretanto, a indústria brasileira de TIC não pode abrir mão desses incentivos, que deveriam ser mais bem direcionados para atividades de inovação na cadeia de TIC. A Lei de Informática vem sendo questionada na Organização Mundial do Comércio (OMC) por União Europeia e Japão, fato que obriga o Governo brasileiro a negociar alternativas, diante do risco de retaliações às exportações. Além disso, o controle das contrapartidas das empresas em termos de PPB e investimentos em P&D é pouco efetivo e precisa ser aperfeiçoado. Tanto a aprovação quanto o monitoramento dos incentivos precisam de maior agilidade e eficácia.

Outro desafio se refere ao capital humano. O Brasil possui uma baixa proporção de graduados em engenharia e ciências e, apesar dos avanços nos últimos anos, ainda se formam menos técnicos que o necessário. A Brasscom estima que haverá um déficit de 200 mil profissionais de TI nos próximos anos. Entretanto, a simples formação de profissionais sem um fortalecimento das atividades internas de desenvolvimento tecnológico por parte das empresas pode levar a um aumento da evasão de talentos para o exterior.

A indústria de *hardware* para TIC no Brasil encontra-se bastante combatida pela crise econômica de 2014-16, pelo amadurecimento tecnológico de seus produtos, pela inexpressiva taxa de inovação local em bens finais eletrônicos e pela baixa competitividade internacional. Empresas de engenharia de *software* e *design* de sistemas, operadores de plataformas tecnológicas e grandes usuários de TIC constituem o polo potencialmente dinâmico para introdução de tecnologias disruptivas no país. As oportunidades de aplicações encontram-se principalmente nas áreas de rápido crescimento da economia brasileira, como agronegócios, exploração de petróleo e alguns segmentos da indústria manufatureira que exigem maior adaptação da tecnologia a condições geográficas e institucionais locais. No entanto, para desenvolver tal potencial e reverter o quadro de aprofundamento da fragilidade, é preciso dinamizar a demanda por *design* e projetos de engenharia de sistemas no país, de modo a capturar o potencial de soluções que exigem customização, inovando e testando novos modelos de negócio.

1.3.2 Evolução e perspectivas do setor de microeletrônica

O mercado de componentes semicondutores no Brasil é uma atividade importadora destinada a suprir a montagem local dos bens finais. No país são consumidos cerca de

2,3% a 2,6% do total de CI produzidos no mundo, sem nenhuma presença de produtor local nos componentes semicondutores de maior valor agregado. A única exceção é a disponibilidade de memórias DRAM e não voláteis (*flash EEPROM*), que são encapsuladas pelo *back-end* de duas empresas produtoras brasileiras, a Smart Modular e a HT Micron.

A debilidade industrial do país no setor de componentes eletrônicos torna crucial que se elaborem estratégias consistentes de reinserção nas novas cadeias do setor de microeletrônica. A entrada em novos serviços e produtos finais, como serviços baseados em dispositivos de IoT, pode dinamizar outros setores ao demandar a primeira etapa de projeto do sistema eletrônico às *designhouses* de *chips* e às desenvolvedoras de sistemas embarcado no mercado brasileiro. As empresas de projeto de engenharia eletrônica já com operações no Brasil, como as de *design* de *chips*, e as de fabricação eletrônicos, como as de *back-end*, só serão beneficiadas se houver um novo ciclo de inovação com características endógenas ao mercado brasileiro, por exemplo, relacionadas aos serviços de saúde, de transporte e à agroindústria.

A demanda interna por componentes eletrônicos é suprida por importações, que são realizadas diretamente pelos outros subsistemas industriais produtores de bens finais, eletrônicos ou não (informática, automação, telecomunicações, eletrônicos de entretenimento, utilidades domésticas, indústria de autopeças, aeroespacial e de equipamentos industriais). O resultado são os altos déficits anuais na balança comercial do Brasil, que atingiu seu maior valor histórico antes do início da crise em 2014 – US\$ 36,2 bilhões. Todo o complexo elétrico e eletrônico brasileiro experimentou declínio nas exportações anuais no último quinquênio, de US\$ 8,2 bilhões em 2011 para US\$ 5,6 bilhões em 2016 – menos de US\$ 50 milhões em semicondutores. As importações de componentes eletrônicos somaram US\$ 11,9 bilhões em 2016.

O setor doméstico de componentes eletrônicos em geral, semicondutores e passivos é o elo mais inexpressivo da cadeia brasileira de eletrônica e dos bens de TIC, atendendo a menos de 3% da demanda das montadoras locais. A atividade econômica desse setor vem definhando no Brasil há mais de 20 anos, voltando a absorver alguns poucos investimentos apenas a partir de 2006, em especial com a edição da Lei nº 11.484 em 2007 (Lei do Padis, de apoio ao desenvolvimento da indústria de semicondutores) e a atuação direta do Estado em projetos induzidos como parte da política industrial explícita para semicondutores.

Em 2015, das dez empresas que fazem parte da Associação Brasileira da Indústria de Semicondutores (Abisemi), quatro delas de encapsulamento de *chip*, que efetivam a etapa de *back-end* no Brasil, concentravam um faturamento anual de R\$ 1,2 bilhão. A Abinee agrupa um conjunto maior de produtores de componentes elétricos, além dos componentes eletrônicos, cujo faturamento no período 2014-2016 declinou em termos reais, reduzindo-se a R\$ 9,91 bilhões em 2016 (Abinee, 2017), conforme é mostrado na Tabela 8.

Para ser eficaz e competitiva, a estratégia de microeletrônica no Brasil deve ser baseada no estabelecimento de um encadeamento entre demanda de soluções e serviços inovadores. Sem tal encadeamento para trás, a indústria de componentes não se desenvolverá localmente nem atrairá investidores externos. Esse encadeamento será um fator indispensável para estimular a inovação em produtos finais de base eletrônica e também a demanda por serviços locais de engenharia dos componentes – como a demanda por negócios com *design houses* (DH), especialmente de engenharia dos sistemas eletrônicos e do *software* neles embarcado.

A estratégia competitiva setorial reside, portanto, no estímulo à inovação por atores empresariais fora da cadeia de semicondutores, buscando as numerosas oportunidades que a diversidade de produtos da era da IoT traz agora e continuará trazendo nas próximas décadas para o complexo eletrônico. A IoT trata de um ciclo longo de inovações, que cobrirá o horizonte nos próximos dez anos e além. Os investimentos no subsistema industrial de componentes eletrônicos são os que mais desafios colocam à política de adensamento produtivo para as TIC no Brasil e para a eletrônica em geral. Instrumentos de indução e investimentos estratégicos a serem aperfeiçoados serão cruciais para possibilitar um futuro adequado para o setor de componentes, com impactos relevantes na capacidade local de inovação da indústria brasileira e do setor de serviços como um todo.

Como fatores adicionais que limitam a estratégia para novos investimentos no setor, destacam-se: as elevadas inversões de capital necessárias à fabricação de semicondutores, em especial na etapa de *front-end*; a existência de poucos investidores nacionais e estrangeiros interessados em investir no atual momento, após uma crise econômica prolongada no Brasil etc.; e a transição de políticas públicas que se verifica na atual conjuntura de julgamento em painel da OMC do incentivo à informática local.

Essas barreiras só podem ser superadas mediante um esforço sistemático de política tecnológica e industrial para o conjunto das TIC, cujos resultados são de longo prazo. Esse esforço deve combinar ações de curto prazo – para estabelecer os instrumentos de política fiscal, creditícia, logística e o arcabouço legal adequado para atrair empreendimentos do tipo fabricação de *wafers*, de mostradores, componentes optoeletrônicos ou fotovoltaicos, componentes outros agregados em submontagens – com políticas e ações que tenham foco, prioridade, constância e apresentem resultados a longo prazo – pelo seu caráter sistêmico e continuado.

Dentre as ações recomendadas para o investimento público, destacam-se a formação de recursos humanos e investimentos bem articulados em atividades de P&D relacionadas ao complexo microeletrônico. A complexidade tecnológica e a alta produtividade do capital que se requer em fábricas de *wafers* são barreiras globais expressivas que desafiam a entrada de *players* novos na etapa de *front-end* em qualquer região, não apenas no Brasil.

1.3.3 Evolução e perspectivas do setor de equipamentos de telecomunicações

O Brasil possui um grande mercado de equipamentos e sistemas de telecomunicação, situando-se entre os cinco maiores do mundo em computadores, celulares, televisores, automóveis, máquinas ATM (*automatic teller machines*) e equipamentos médicos. É o 11º mercado de *software* e serviços de TI (ABES, 2012) e o 4º em número de servidores conectados à Internet (DUARTE, 2012). Esse mercado é em grande parte suprido por produtos montados localmente, mas com conteúdo importado de componentes, partes e peças (LIMA, 2012). Dada a insignificância da indústria de componentes no país, o setor de telecomunicação depende de importações de componentes e de tecnologia.

A despeito da depreciação cambial, a taxa de crescimento das importações nos anos recentes tem sido muito superior ao crescimento das exportações. As exportações caem como reflexo da baixa competitividade da indústria brasileira, gerando um aumento do déficit comercial, como é ilustrado na Tabela 11. Esses valores referem-se à área de equipamentos de telecomunicações, não estando incluídos os valores para componentes de telecomunicações, cujo comportamento aparece na Tabela 12.

Tabela 11 – Balança comercial de bens de telecomunicações, 2012-2017
(em US\$ milhões)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017 1º sem.
Exportações	569	432	263	224	199	108
Importações	2.712	2.876	2.883	1.952	1.808	976
Saldo	(2.143)	(2.444)	(2.620)	(1.728)	(1.608)	(868)

Fonte: Abinee (2017).

Tabela 12 – Balança comercial de componentes de telecomunicações, 2012-2016 (em US\$ milhões)

	2012	2013	2014	2015	2016
Exportações	231	197	156	178	102
Importações	5.653	6.645	6.833	5.076	3.628
Saldo	(5.422)	(6.448)	(6.677)	(4.898)	(3.526)

Fonte: Abinee (2017).

A projeção realizada pela Abinee (2017) para o faturamento do segmento de infraestrutura de telecomunicações no ano de 2017 é de crescimento negativo em -6%.

Esse comportamento é também reflexo da competição internacional: fabricantes europeias e norte-americanas estão rapidamente perdendo mercado para as chinesas, como a Huawei e a ZTE. Essa perda de mercado global prejudica a capacidade de subsidiárias europeias e estadunidenses no Brasil de exportar.

Assim como ocorreu em outros países, no Brasil a indústria de telecomunicação se constituía como um monopólio natural, com tecnologia restrita à oferta de serviços de voz comutada. Até a década de 1970, a base tecnológica era quase completamente estrangeira, e as atividades industriais nacionais se restringiam à montagem de componentes, com muitas empresas operando como subsidiárias de companhias estrangeiras (LOURAL *et al.*, 2006a). Graças à política de substituição de importações implementada nos anos 1970; à criação de um centro dedicado de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD) e à uma política de compras públicas por parte da Telebrás, a dependência estrangeira foi mitigada. Ao final dos anos 1980, o Brasil dispunha de um complexo de fabricantes nacionais operando na fronteira da tecnologia em uma cadeia organizada em torno da Telebrás, com tecnologia desenvolvida nacionalmente (LOURAL *et al.*, 2006a). No entanto, a privatização das telecomunicações e a abertura do mercado nacional na década de 1990 resultaram na aquisição de empresas brasileiras por estrangeiras.

Hoje, a despeito de haver milhares de prestadoras de serviço de comunicação registradas na Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), mais de 99% do mercado nacional é atendido por apenas cinco grandes empresas, controladas por capital externo (TELECO, 2017), à exceção da Oi Telecom que, não obstante, enfrenta sérios problemas de ordem financeira e institucional.

O mercado brasileiro de equipamentos e sistemas de telecomunicação é dominado pelas operadoras de telefonia, também de maioria estrangeira, embora pequenos provedores de serviços de Internet (ISP) constituam um nicho de mercado relevante. Desde a reativação da Telebrás em 2010, tem-se um ator de peso, de capital nacional (e público), entre os principais contratantes de equipamentos e sistemas. Fabricantes locais somente conseguem entrar nessas cadeias quando há possibilidade de customização, dadas as especificidades do mercado local e a necessidade de suporte e manutenção local ou por intervenção de política pública, notadamente incentivos fiscais e exigência de conteúdo local.

O número de empresas com conteúdo tecnológico desenvolvido no país é pequeno e essas estão concentradas nos estados de São Paulo (capital e região de Campinas) e Rio Grande do Sul (capital e região metropolitana). As exportações eventuais dessas empresas são dirigidas aos mercados emergentes da América Latina, África e Ásia, limitadas não somente pela capacidade técnica das empresas, mas também por fatores contratuais, uma vez que o fornecimento internacional por vezes exige a oferta de financiamento ao cliente, assim como serviços de instalação e manutenção da rede local (LOURAL *et al.*, 2006b).

Do ponto de vista da topologia da rede, as empresas de menor porte atuam predominantemente no segmento da rede de acesso (a chamada última milha, que leva a conectividade desde o nó da rede aos consumidores finais) e um pouco no âmbito das redes Metro. Não há grande diversificação de produtos no portfólio das pequenas empresas, que oferecem um conjunto de tecnologias legadas e novas, em função do risco e da exigência de investimento para introdução de novas tecnologias no setor (LOURAL *et al.*, 2006b).

As empresas de maior porte atuam tanto no segmento de tecnologias para a rede Metro quanto para o *backbone*. Dado que esse segmento requer mais desempenho do que baixo custo, há oportunidade para competição por parte de empresas nacionais de elevado conteúdo tecnológico, oferecendo produtos competitivos em termos de desempenho e características – a PadTec de Campinas (SP) e a Datacom de Eldorado do Sul (RS) são duas empresas nacionais de destaque em equipamentos de telecomunicações, com desenvolvimento e P&D próprios, e que disputam o mercado com grandes *players* globais. Nesse segmento, as empresas brasileiras atendem principalmente ao mercado nacional, com alguma incursão nos mercados latino-americanos (LOURAL *et al.*, 2006a).

Desde os anos 1990, a mudança da política (privatização e desnacionalização) induziu perda de capacidade de desenvolvimento tecnológico próprio nas áreas de telecomunicações e informática (LOURAL *et al.*, 2006a). A rarefação das atividades locais de P&D, com exceções, persiste até o presente. A esperança da indústria (FORUM EDITORIAL, 2016) é que um novo ciclo de investimentos em telecomunicações, impulsionado pelos milhares de novos dispositivos a serem conectados à IoT, restaure condições mínimas de desenvolvimento local de produtos para comunicações digitais.

No entanto, a estrutura de custos das empresas de equipamentos e sistemas de telecomunicação no Brasil é menos competitiva do que em outros países, notadamente da Ásia, em decorrência da necessidade de importação de componentes e dos custos superiores relativos à mão-de-obra e tributos. Desenvolveu-se, como meio estratégico para redução de custos e aumento da competitividade, o modelo de terceirização produtiva – montagem de equipamentos, partes, peças e componentes na Zona Franca de Manaus – e os incentivos fiscais ligados à Lei de Informática, todos enquadrados no chamado processo produtivo básico (PPB), que determina as etapas de produção local, aquisição local de componentes e investimento mínimo em P&D pelas empresas incentivadas pela Lei. As exigências do PPB garantem a manutenção de processos fabris de equipamentos no Brasil frente à concorrência asiática.

Apesar dessas dificuldades, um estudo patrocinado pela Cisco (citado em FÓRUM EDITORIAL, 2016) aponta a adoção de *cloud computing* pelas empresas no Brasil e na América Latina num patamar acima da média mundial. Apesar de muitas delas ainda não possuírem uma estratégia dedicada a essa tecnologia, respondendo apenas às necessidades de curto prazo, foram observadas as seguintes aplicações no país: *big data*

analytics e inteligência artificial (*machine learning*) no tratamento de dados de chamadas para alimentação *dashboards*, em apoio aos serviços de suporte e manutenção de redes, previsão de comportamento de usuários, indicação de erros e relatórios de desempenho; computação na nuvem, inteligência artificial e *big data analytics* para planejamento e dimensionamento de uso da rede e previsão de crescimento da demanda; inteligência artificial (reconhecimento de linguagem natural) em serviços de *call center*, com bons resultados na resolução de demandas mais simples, sem intervenção humana.

Por outro lado, como fornecedoras de tecnologia, as subsidiárias das grandes empresas localizadas no país acompanham de perto as transformações da demanda. Derivam sua capacitação tecnológica das empresas matrizes, atuando na fronteira da tecnologia, em nichos específicos de mercado. Alguns exemplos de aplicações observadas são descritos a seguir:

- Migração da oferta de *hardware* proprietário para serviços de *core* de rede baseado em *software* (*softswitch*), rodando em *hardware* genérico de terceiros.
- Gradual oferta de soluções de SDN.
- Oferta de soluções de rede sem fio com foco em IoT. O serviço de conectividade provido pelas operadoras de telefonia é de baixa confiabilidade e alto custo quando voltado a aplicações de missão crítica ou aplicações de IoT em grandes áreas geográficas. Por exemplo, a TrópicoSistemas oferece soluções de conectividade via rádio usando frequências 4G não licenciadas ou de uso secundário para prover conectividade para IoT e conectividade de missão crítica, com foco nos setores da agroindústria (sucroalcooleira, grãos, florestal, cítricos), da energia (hidroelétrica, parques eólicos), de petróleo & gás, da mineração.
- Incorporação de tecnologias NFV e SDN nos equipamentos e sistemas já comercializados e substituição de sistemas legados de rede por computação na nuvem, resultando em ganhos de escala e flexibilidade.
- Oferta de serviços e soluções de *datacenters* (incluindo *hardware* e *software*) localizados, customizados e de menor porte para soluções de IoT, quando há necessidade de processamento na borda (*fog computing*). Essas soluções permitem baixa latência e menor taxa de erro, por exemplo, para navegação georreferenciada de implementos agrícolas e tratores ou para processamento de dados de sensores locais em conjunto com dados da Internet, como o controle de irrigação, que usa informação sobre a umidade do solo em conjunto com previsão de chuva e condições meteorológicas.

1.3.4 Evolução e perspectivas do setor de *software*

Em 2016, a utilização de programas de computador desenvolvidos no país (incluindo o *software* sob encomenda) representou 31% do investimento total de TI, mantendo a tendência de crescimento da participação em relação ao mercado total, apontada

desde 2004. Conforme a Abes (2017), cerca de 15.700 empresas dedicaram-se ao desenvolvimento, à produção, à distribuição de *software* e de prestação de serviços no mercado nacional, sendo que aproximadamente 59,5% delas possuem atividade principal voltada para desenvolvimento e produção de *software* ou prestação de serviços.

Considerando-se apenas as 4.872 empresas que atuam no desenvolvimento e produção de *software*, cerca de 95% podem ser classificadas como micro e pequenas empresas (até 99 funcionários). As grandes (com mais de 500 funcionários) e as médias (entre 100 e 500) totalizam 0,9% e 3,9%, respectivamente. Praticamente 51% do mercado usuário é composto por empresas dos setores de serviços, telecom e finanças, seguidos por indústria e comércio. Tomando como parâmetro o mercado brasileiro de *software*, os dados de 2016 revelam que 22,5% do mercado se referem a *software* desenvolvido no país; 75,5%, no exterior; e as exportações perfazem 2,0% (Figura 11)².

Figura 11 – Características do mercado brasileiro de *software* e demais serviços de TI (em US\$ milhões e %)



Fonte: ABES (2017).

A participação pouco expressiva do *software* doméstico assinalada na Figura 11 reflete o predomínio de grandes empresas no segmento de *software* pronto (*package software*), confirmando a dominância de padrões decorrentes das economias de escala das redes, em que a comercialização em massa traz vantagens importantes.

Os altos investimentos necessários para o desenvolvimento de *software*-produto implicam a necessidade de contar com uma significativa comunidade de usuários,

2. Os cálculos da ABES consideraram as empresas com atividade principal nas classes CNAE 6311 (tratamento de dados, provedores de serviços de aplicação e de hospedagem na Internet) e CNAE 6319 (portais, provedores de serviços de conteúdo e outros serviços de informação na Internet).

de modo a permitir que as empresas possam diluir os custos de desenvolvimento. Isso ocorre tanto para os *softwares* horizontais (de uso geral) quanto para os verticais (que atendem a setores particulares). A interatividade entre equipamentos ou sistemas realimenta as economias de escala das redes, facilitando a imposição de padrões dominantes. A Windows/Microsoft, por exemplo, desponta como empresa líder no Brasil, concentrando-se na revenda de *software* importado e com incipiente atividade de P&D local.

Outro mercado de crescente importância é o de serviços de computação em nuvem, o qual pode ser segmentado por tipos de licenciamento. Nota-se um crescimento expressivo tanto da modalidade plataforma como serviço (PAAS) (de US\$ 313 milhões em 2015 para US\$ 452 milhões em 2016), quanto da modalidade *software* como serviços (SAAS) (de US\$ 193 milhões em 2015 para 294 milhões em 2016). É possível constatar que a nuvem vem registrando aumento de participação para todas as aplicações, embora tenha uma participação minoritária para a maioria delas. A exceção fica por conta das aplicações colaborativas, cuja participação da nuvem atingiu 53,3% em 2016.

Em se tratando de *big data* e *analytics*, verifica-se um crescimento menor do valor movimentado pelo mercado, passando de US\$ 516 para US\$ 536 milhões no caso do modelo de utilização plataforma; e de US\$ 268 para US\$ 273 milhões no modelo aplicações. No caso do modelo-plataforma, predominam no mercado as tecnologias *relational data warehouse management tools* (43,2%, de um total de US\$ 536,2 milhões); e *end-user query, reporting and analysis tools* (37,6% do mesmo total). No tocante às aplicações, as principais tecnologias são *enterprise performance management applications* (29,1% de US\$ 273,52 milhões) e *services operations analytic applications* (15,5% do mesmo montante).

Uma visão alternativa para observação do mercado brasileiro de *software* foca nas finalidades das soluções geradas ou os setores usuários. Na primeira situação, percebe-se que o maior volume de transações é registrado para os *softwares* aplicativos (44,1%); e no segundo, para os serviços e telecom (26,6%) (Tabela 12).

Tabela 12 – Segmentação do mercado brasileiro de *software*, Brasil, 2016

SEGMENTAÇÃO DO MERCADO BRASILEIRO DE SOFTWARE <i>Software Brazilian Market Segmentation</i>			
SEGMENTO <i>Segment</i>	VOLUME <i>Volume</i>	PARTICIPAÇÃO <i>Share</i>	2016/2015
APLICATIVOS <i>Applications</i>	3.811	44,1%	+ 0,8%
AMBIENTES DE DESENVOLVIMENTO <i>Development Enviroments</i>	2.868	33,1%	0%
INFRAESTRUTURA E SEGURANÇA <i>Infrastructure and Security</i>	1.796	20,8%	- 1,3%
PRODUÇÃO LOCAL PARA EXPORTAÇÃO <i>Domestic Production for Export</i>	177	2%	+ 5,1%
SUBTOTAL SOFTWARE <i>Software Subtotal</i>	8.652	100%	+ 0,2%
SEGMENTAÇÃO DO MERCADO DOMÉSTICO DE SOFTWARE (*) <i>Software Domestic User Segmentation (*)</i>			
SEGMENTO VERTICAL <i>Vertical Segment</i>	VOLUME <i>Volume</i>	PARTICIPAÇÃO <i>Share</i>	2016/2015
SERVIÇOS E TELECOM <i>Services and Telecom</i>	2.520	26,6%	+ 3,6%
FINANÇAS <i>Finances</i>	2.317	24,5%	- 2,9%
INDÚSTRIA <i>Industry</i>	1.986	21 %	+ 0,2%
COMÉRCIO <i>Commerce</i>	1.126	11,9%	+ 0,3%
GOVERNO <i>Government</i>	425	4,5%	+0,1%
ÓLEO E GÁS <i>Oil and Gas</i>	365	3,9%	- 1,6%
AGROINDÚSTRIA <i>Agricultural Industry</i>	182	1,9%	- 1,5%
OUTROS <i>Other</i>	544	5,7%	- 0,1%
TOTAL	9.465	100%	+ 0,2%

Notas: (*) Nesta tabela estão considerados os valores relativos ao *software* de produção local, desenvolvido no exterior e sob encomenda.
(**) Nesta tabela estão considerados os valores relativos ao *software* de produção local e desenvolvido no exterior.
Fonte: ABES (2017).

Ante as restrições colocadas relativamente ao mercado de *software* pronto, as perspectivas para as empresas brasileiras apresentam-se mais favoráveis no âmbito do *software* como serviço. Pode-se antecipar uma integração progressiva entre as áreas de TI e de negócios das empresas na direção da digitalização de processos, integração das linhas de produção e gestão do *marketing* e do relacionamento com os clientes.

De acordo com uma sondagem da ABES (2016), mais de 50% das grandes e médias empresas brasileiras tem intenção de investir na transformação digital. A busca por produtividade e competitividade confluirá para robustecer o caráter estratégico do setor de TI nas nossas empresas – ainda predominantemente focado em melhoria de processos, redução de custos e eficiência organizacional (ABES, 2017).

A crescente visibilidade IoT inaugura frentes de expansão para o segmento de TI, em razão dos vários serviços associados a essa tecnologia-plataforma, especialmente no campo da engenharia de *software* e de sistemas, segurança em TI e ciência de dados. Espera-se para um horizonte próximo que empresas migrem de aplicações tradicionais, como telemetria e monitoramento, para a IoT. Apesar de haver ainda um longo caminho a ser percorrido para uma maior alavancagem da IoT (especialmente no campo da padronização baseada em sistemas abertos), fornecedores de equipamentos e desenvolvedores de plataformas, *softwares* e soluções industriais deverão intensificar o lançamento de soluções de IoT customizadas, demandando a reboque serviços de suporte. A área de segurança, em particular, deverá envidar esforços para lidar com cenários complexo de IoT, por meio do endurecimento e padronização de práticas de segurança para dispositivos conectados.

Conforme a ABES (2016), poucas tecnologias experimentarão a expansão vislumbrada para *cloud computing*, cujo crescimento é estimado em 20% ao ano até 2020. A crise recente tende a exercer pressão sobre as empresas, no sentido de impeli-las a buscar alternativas como a exploração de mídias sociais e experiência do cliente (CX), as quais se vinculam fortemente à nuvem e à IoT.

Analytics e IA crescentemente permearão soluções de mercado, aportando inteligência aos processos de negócios. O reconhecimento da relevância de dados não estruturados, especialmente os oriundos de mídias sociais e de interações diretas com os clientes, impulsionarão as iniciativas de *big data*. Novos modelos de negócio devem ganhar espaço, fincados nos pilares do que vem sendo chamado por instituições como IDC e Gartner de terceira plataforma ou força dos nexos, quais sejam, IoT, *cloud computing*, mídia social, *big data* e mobilidade (CLOUD 21, 2017). As tendências apontam para uma expansão dos modelos colaborativos, sobretudo junto a usuários finais, configurando-se como 100% digitais.

Outra oportunidade para o setor virá da ampliação dos pagamentos móveis, resultando em aumento da população “bancaizada”. O *blockchain* será o fator propulsor disso, ao permitir a criação de novos modelos financeiros, de compensação e de pagamentos – modelos esses disruptivos e apoiados em novos sistemas e *softwares*. No entanto, ainda são elevadas as barreiras para a sua disseminação, notadamente as de natureza regulatória.

Do ponto de vista dos setores usuários de tecnologias, Bordeaux-Rego (2017) elenca aqueles que poderão ser mais impactados a curto prazo pela IoT no Brasil: insumos básicos,

como papel e celulose, química, petroquímica, siderurgia e petróleo e gás. O setor da agroindústria será talvez o mais beneficiado pelas inovações em IoT, devido principalmente à participação intensa de *startups* na sua adoção. As empresas de *software* e serviços, portanto, precisam se empenhar na concepção e *design* de soluções sintonizadas às características de negócio desses setores. Da mesma forma, os avanços nos sistemas integrados e inteligentes de manufatura (4.0) demandarão das empresas de *software* e de engenharia de produtos e sistemas um esforço de resposta às peculiaridades das cadeias manufatureiras brasileiras. Este é o caminho para criar e capturar oportunidades de mercado e acelerar os ganhos de produtividade para os usuários.

Dados da Pintec/IBGE 2012-2014 apontam que o setor de serviços de TI destaca-se em relação a outros segmentos, com taxas de inovação de produto e de processo de 37,7% e 36,4%, respectivamente. Sobressaem-se os serviços que atuam em nichos de mercado tradicionalmente de valor adicionado mais elevado, como os de desenvolvimento de *software* sob encomenda (56,9% e 53,3%), customizável (37,4% e 34,2%) e não customizável (40% e 29,7%).

Em relação ao quantitativo de empresas com gasto em P&D das atividades de TI em 2014, destacam-se os valores encontrados para os segmentos de serviços de TI (22,9% do total de empresas) e alguns de seus subsetores, como desenvolvimento de *software* sob encomenda (33%) e desenvolvimento de *software* customizável (27,8%). Quanto ao segmento de serviços de telecomunicações, apenas 8% das empresas apresentaram gastos em P&D em 2014.



2 OS *CLUSTERS* TECNOLÓGICOS RELEVANTES

2.1 Identificação das tecnologias relevantes

A indústria de TIC é responsável pelo desenvolvimento e, ao mesmo tempo, pioneira no uso de tecnologias emergentes como a inteligência artificial (IA), visão computacional, realidade aumentada (AR), *machine learning*, processamento de linguagem natural, *big data* e *analytics*. As tecnologias de TIC são habilitadoras e difusoras das tecnologias potencialmente disruptivas que impactam todas as indústrias e serviços modernos. Dessa forma, no caso deste sistema produtivo as novas tecnologias têm caráter duplamente disruptivo. De um lado, reestruturam os mercados e as estratégias empresariais no próprio sistema, de outro, transmitem efeitos disruptivos para outros sistemas produtivos, revolucionando processos de fabricação e contribuindo para o surgimento de novos produtos e serviços nos mais diversos setores da economia.

A inteligência artificial propõe-se a elaborar dispositivos que simulem a capacidade humana de raciocinar, perceber, tomar decisões e resolver problemas. Embora venha sendo pesquisada há décadas, essa área do conhecimento foi recentemente impelida por inovações que proporcionam mais recursos computacionais e abrem caminho para atividades de P&D em redes neurais. O aumento da percepção de seu valor para usuários vem impulsionando o desenvolvimento de algoritmos customizados para diferentes atividades, tarefas que exigem grandes esforços para padronização, integração e organização dos bancos de dados existentes.

A inteligência artificial abrange diferentes áreas, definidas de acordo com os recursos e os insumos informacionais utilizados. O *machine learning* (ML) oferece aos computadores a capacidade de aprender com base em dados, sem serem explicitamente programadas as respostas, de modo determinístico. Busca construir algoritmos capazes de aprender com dados estatísticos, fazer previsões e tomar decisões, superando as limitações dos métodos tradicionais de programação da reação dos sistemas, baseada em modelos estáticos para respostas predefinidas. Exemplos de aplicações incluem a filtragem de *e-mails*, detecção de programas intrusos ou maliciosos, reconhecimento de caracteres ópticos (OCR), capacidade de ranquear e visão computacional. O ML está muito relacionado à estatística computacional e à otimização matemática, disciplinas que fornecem as teorias e métodos utilizados no desenvolvimento de aplicações.

No âmbito da análise de dados, o aprendizado de máquina é um método usado para elaborar modelos complexos e algoritmos que se prestam à análise preditiva. Esses modelos analíticos permitem que pesquisadores, cientistas, engenheiros e analistas produzam resultados e decisões confiáveis e repetíveis, além de descobrir “*insights* ocultos” por meio da aprendizagem de relações históricas e tendências nos dados.

A área de *deep learning* representa um novo campo de pesquisa, derivado do ML, que recupera os objetivos originais da inteligência artificial. É baseada no estudo das redes neurais artificiais e algoritmos de aprendizagem de máquina, utilizando várias camadas de processamento não-lineares para extração de informações e tomada de decisões. Cada camada sucessiva usa a saída da camada anterior como entrada, visando a aprofundar a análise e classificação de padrões. O *deep learning* ainda está em fase inicial de desenvolvimento, mas promete ser uma tecnologia-chave no prazo de dez anos.

O advento da computação em nuvem deu origem a novos serviços de acesso a informação, incluindo aplicativos, ferramentas de busca, redes de comunicação, provedores, centros de armazenamento e processamento de dados. Bens da informação armazenados em nuvem são “não rivais” e podem ser utilizados simultaneamente por um número ilimitado de usuários. O modelo permite reduzir a capacidade ociosa em armazenamento e processamento de dados por meio de uma rede global integrada de servidores conectados por diferentes dispositivos. O impacto fundamental da nuvem reside na oportunidade de compartilhar conteúdos e pagar pelo uso, em vez de armazenar dados e instalar programas aplicativos em cada computador. O foco do cliente passou a ser o acesso e a análise da informação, e não a forma como ela é mantida e processada.

Para realizar o potencial de aumento nos níveis de produtividade, é necessária uma colaboração mais estreita em todo o ecossistema de inovação, de forma a combinar diferentes produtos e serviços para atender às necessidades dos clientes. As novas máquinas podem aprender com as pessoas, observando estatísticas e movimentos, e também assistir aos trabalhadores por meio de informações. A realização desse potencial depende do empenho de empresas, associações e governos para superar os desafios referentes à segurança e à privacidade de dados e à interoperabilidade de sistemas.

A hiperconectividade e o crescente compartilhamento de dados aumentam a vulnerabilidade dos sistemas a ataques cibernéticos praticados por *hackers*. Por meio da transmissão de vírus (arquivos maliciosos), organizações criminosas infectam, danificam e roubam informações de computadores e bancos de dados *online*, visando à cobrança por resgate ou venda de serviços de espionagem industrial, graças ao acesso a informações confidenciais e estratégicas. Os gastos em segurança de dados já respondem por cerca de 20% dos investimentos em TIC, dada a necessidade de autenticar dispositivos, assegurar aplicações e assegurar o funcionamento do sistema.

A adoção de modelos de negócio desenhados com base em tecnologias disruptivas ocorre principalmente em serviços intensivos em conhecimentos (SIC ou KIBS). Já na manufatura, a dificuldade de integração de sistemas legados retarda mudanças mais radicais no planejamento e no controle da produção em uma cadeia produtiva. A tarefa de integrar diferentes aplicações, controladas por distintas empresas e organizações, aumenta a complexidade e os custos da implantação da manufatura avançada. A necessidade de compartilhar dados entre diferentes empresas requer um longo

trabalho de desenvolvimento de interfaces amigáveis e modelos de análise. Mesmo no interior da mesma empresa coexistem sistemas que utilizam diferentes lógicas, linguagens e protocolos, que foram concebidos em diferentes épocas e recorrendo a distintos fornecedores. Ou seja, o percurso é, no caso, mais longo, mas isso não significa ausência de oportunidades, dada a necessidade de customização de soluções e do potencial de ganhos de produtividade.

As novas tecnologias disruptivas e a formação de plataformas têm um impacto significativo na estrutura da indústria de TIC. Empresas líderes em determinado período foram sucessivamente superadas por novos atores. Por não estarem atrelados a rotas tecnológicas específicas (*path dependence*), novas empresas puderam inovar com mais liberdade. Para se adaptarem às oportunidades geradas por inovações disruptivas, as grandes empresas estabelecidas adquirem *startups* ou criam unidades autônomas mais flexíveis para explorar as oportunidades abertas pelas novas tecnologias.

Empresas que operam redes de serviços digitais, *sites* de relacionamento e comércio eletrônico operam plataformas multiprodutos e passam a competir entre si. Empresas de *software* se transformam em prestadores de serviços em nuvem. Redes de relacionamento social como o Facebook vêm ampliando seu escopo de atuação para todo o universo potencial de serviços *online*. Mais importante que o segmento vertical em que estas empresas atuam são as economias de rede obtidas nas plataformas que controlam.

As plataformas podem ser proprietárias ou abertas, permitindo diferentes níveis de acesso a informações e recursos e impactando na estrutura da indústria. Por exemplo, aplicativos Windows ou Apple só funcionam em dispositivos compatíveis, enquanto Google, Amazon e Facebook operam em diferentes padrões. Apesar de as plataformas buscarem aprisionar usuários em uma única base, seja por meio de padrões técnicos ou serviços abrangentes de qualidade, o modelo parece estar migrando para a adoção de ecossistemas paralelos. Nesse contexto, para evitar a exclusão de concorrentes e bloqueios à conectividade, as autoridades regulatórias e de defesa da concorrência devem assegurar a interoperabilidade e afastar práticas monopolistas abusivas.

A possibilidade de ampliar a oferta de serviços a custo marginal próximo de zero abriu caminho para modelos de negócio baseados em serviços gratuitos aos clientes. Por meio das novas tecnologias de *big data* é possível combinar informações de cartões de crédito, troca de e-mails, perfil nas redes sociais e compras na Internet para enviar mensagens específicas para cada cliente, um *marketing* personalizado que tende a dominar o futuro do mercado publicitário.

Por outro lado, a possibilidade de produzir mais conteúdo e acessar diretamente o mercado por meio de plataformas vem gerando uma superoferta de informações e serviços. Herbert Simon percebeu pioneiramente que a riqueza da informação gerava a pobreza da atenção. Diante da explosão informacional, conclui-se que o problema

não é de acesso, mas de sobrecarga. Dadas as limitações neurofisiológicas do cérebro humano de processar quantidades grandes de informações, e dada a complexidade do ambiente, o excesso de informação pode ser tão prejudicial quanto sua falta. Por isso, novas tecnologias relacionadas aos algoritmos da inteligência artificial ganham importância no mundo corporativo.

As oportunidades de estabelecer plataformas surgem geralmente nas fases iniciais do desenvolvimento de uma indústria, ou quando ocorre uma ruptura tecnológica que favorece a introdução de um novo padrão tecnológico ou modelo de negócio. A legislação e a atuação dos órgãos antitruste também são importantes para a formação de plataformas. A Microsoft e, mais recentemente, a Google têm sofrido restrições na Europa contra suas práticas, alegadamente anticoncorrenciais, de aproveitar a liderança em sistemas operacionais para direcionar usuários para seus próprios serviços *online*. Existe ceticismo entre os analistas em relação à efetividade das políticas de defesa da concorrência para alterar o modelo de *lock-in* nas plataformas, mas isso não significa que estas devam ficar inertes diante de práticas monopolísticas.

Plataformas tecnológicas constituem ecossistemas relativamente fechados, desenhados para fidelizar clientes e oferecer diferentes serviços em um único ambiente. Aprisionar clientes em uma plataforma específica constitui a estratégia competitiva dominante entre as empresas líderes da indústria de TIC, pois permite diluir custos, estabelecer uma base estável de clientes e erigir barreiras à entrada de concorrentes. O *lock-in* pode ser induzido por padrões técnicos específicos, como no caso da Apple, ou pelo oferecimento de uma extensa gama de aplicativos pagos (Microsoft) ou gratuitos (Google). A fidelização não se dá, portanto, apenas pelo controle do sistema operacional, mas também pela qualidade dos aplicativos e do aprendizado contínuo do usuário no uso de determinadas ferramentas.

A estratégia da gratuidade é viável quando uma empresa que opera em mais de uma camada no âmbito de uma plataforma subsidia uma delas para capturar valor na outra. A transferência de custos e receitas permite criar barreiras à entrada ou mesmo eliminar concorrentes, pois oferece gratuitamente ao cliente serviços que constituem a única fonte de receita de empresas que atuam em apenas uma camada. Por exemplo, ao oferecer um sistema operacional gratuito, a Google obteve a adesão da maioria dos fabricantes de *smartphones* para sua plataforma.

O Android utiliza *browsers* incorporados ao sistema operacional que direcionam usuários para serviços que geram receitas para a empresa. Assim como nos mercados de duas pontas, empresas que operam em plataformas podem gerar prejuízos, inclusive de forma permanente, em uma camada para alimentar a demanda nas demais. Por isso a prática de subsídios cruzados por parte de empresas oligopolistas deve ser objeto de atenção permanente das autoridades antitruste.

2.2 Experiência internacional

O quadro internacional registra evidências de mudanças disruptivas nos mercados, nas estratégias e nos modelos de negócios dos vários segmentos que compõem o sistema produtivo TIC.

2.2.1 Impactos sobre componentes microeletrônicos

Os componentes microeletrônicos atuam como os vetores de difusão essenciais para as novas tecnologias disruptivas. Como exemplo, a tendência mais expressiva no segmento de *chips* microprocessadores atualmente é a especialização de sua arquitetura interna para aumentar expressivamente (por um fator de 10X a 100X) a velocidade de execução de operações aritméticas típicas das redes neurais mais profundas (com muitas camadas, de quatro a 20). Essas são operações lógicas básicas e centrais para o aprendizado automático por máquinas digitais e aplicação de IA. Por esse motivo, a Google tem alianças com empresas de *chips* para o *design* e fabricação de processadores para acelerar o aprendizado de máquina, executando operações do TensorFlow™, por exemplo.

A introdução de meios e serviços de TIC, com integração *online* de equipamentos de fábrica entre si e destes aos sistemas em rede da gestão das empresas, criou o paradigma da produção inteligente e conectada (PIC) para a operação das fábricas novas. Por sua vez, no setor de microeletrônica, a manufatura de *wafers* de 30cm de diâmetro já incorpora ela própria os mais sofisticados e avançados padrões de Manufatura 4.0 nas salas limpas das fábricas dos *chips* estado-da-arte.

No caso da inteligência artificial, seus métodos básicos de aprendizado de máquina – aprender com base em dados disponíveis continuamente e em profusão – são modelados e conhecidos há décadas. É a evolução da capacidade do *hardware* de processar maciçamente os dados em *Clusters* de máquinas – combinada com a capacidade de comunicação de dados e o barateamento exponencial do custo de armazenar e transmitir os dados – que propicia o uso prático e mais disseminado desses métodos de aprendizado, pelos quais as respostas da máquina não são predefinidas de forma estática na programação, mas sim adaptadas ao longo do processamento de dados brutos, que refletem o comportamento temporal e físico de processos e pessoas.

2.2.1.1 Inovação em projeto de sistemas e de componentes

As empresas de sistemas eletrônicos, e crescentemente as de fora da cadeia da eletrônica, são fortes demandantes de inovação em produtos e serviços, cuja concepção está no comando da cadeia de geração de inovações em componentes micro e nanoeletrônicos. As empresas de sistemas, e os novos serviços e novas especificações que delas surgem, sinalizam a necessidade de novos produtos eletrônicos. A engenharia de produto e

de projeto dessas empresas são as que demandam a inovação – que eventualmente só poderá ser atendida com um novo componente, ou um componente existente cuja funcionalidade, preço e desempenho devem ser melhores que o estado atual da arte. Na origem do processo de inovação estão essas demandas, às quais as empresas de *design* de *chips* estão continuamente atentas, pois se trata de oportunidades de novos negócios e de inovação. O *Cluster* Tecnológico de IoT expressa de modo claro essa dinâmica intersetorial, que é dinamizadora de inovação em componentes (não apenas microprocessadores e memórias, mas sistemas-em-*chip* completos), equipamentos (*hardware*) e serviços finais ao usuário.

Há consenso no setor de semicondutores que a IoT constitui a demanda que impulsionará o crescimento do setor de semicondutores na próxima década. Esse crescimento, globalmente, não será exponencial, sendo previsto como o mais modesto na comparação com os segmentos de TIC a jusante. A empresa IC Insights prevê para o período 2016-2022 um crescimento médio anual de 5,3% para a indústria de circuitos integrados, conforme a Figura 3. Os *chips* que atenderão aos sistemas de IoT deverão ter graus diversificados de customização, mas a estrutura da indústria atual já serve a essa demanda, e não serão necessárias tecnologias disruptivas de semicondutores para atendê-la. Uma trajetória mais evolutiva no setor de eletrônica é compatível com a explosão da demanda pela IoT. Em suma, os dispositivos sensores, os nós inteligentes embarcados em “coisas” e outros componentes não exigirão refazer a tecnologia do *front-end* CMOS para fabricação de *wafers*, e sim inovação no produto eletrônico como um todo, desde o seu *design* e empacotamento até o interfaceamento físico para compor e interagir com a “coisa” em específico.

2.2.1.2 Inovação em fabricação de componentes microeletrônicos

As tecnologias de fabricação atualmente existentes têm evoluído em linha com a previsão da Lei de Moore, e no *front-end* verifica-se uma desaceleração do *scaling* bidimensional dos transistores. Já é previsto que as tecnologias do estado da arte ainda evoluirão nos próximos dez anos até o nano-CMOS do nó tecnológico designado como 5 a 6 nm (nanômetros). Essa evolução beneficia a curva custo-benefício para um conjunto economicamente expressivo de componentes, como as memórias densas (DRAM e *flash*), as CPU multicore e os *chips* programáveis pelo usuário, como os FPGA.

Porém, uma vasta gama de outros componentes que serão parte da era de inovação de IoT, como comunicadores, sensores, atuadores e coletadores de energia, não demandam nem dependem dessas gerações ultra-avançadas de CMOS, que mantêm em evolução o setor de memórias e CPU de alto desempenho. A introdução da revolução de bens da IoT, a evolução dos componentes sensores e de bateria (alimentação energética dos eletrônicos), presentes na demanda atual, exigirão mais inovação nas etapas de projeto e

de encapsulamento e não dependerão de tecnologias de fabricação de 5nm, 6nm, 10nm, 14nm ou similares, que são muito caras e não essenciais para as demandas de IoT.

2.2.2 Impactos sobre o mercado, padrões de concorrência e modelos de negócios em componentes semicondutores (micro e nanoeletrônica)

Os efeitos da inovação no setor de componentes micro e nanoeletrônicos propagam-se imediatamente para a cadeia de equipamentos eletrônicos e para os serviços de TIC, pela combinação de duas características do setor de microeletrônica: primeiro, o incremento de funcionalidades e das capacidades dos *chips* ocorre a preços constantes, pelo paradigma da integração-redução dos módulos em *chip*, o que remete às inovações na cadeia produtiva dos *chips*, que são cada vez mais densos; segundo, as funcionalidades requeridas pelo mercado dos equipamentos, e mesmo o de serviços, são definidas pelas empresas desses setores e rapidamente repassadas como especificação para a cadeia produtiva dos *chips* semicondutores.

O dinamismo e a concorrência no mercado das TIC atuam como *drivers* para as inovações no *design* e na fabricação dos chips. Esperam-se impactos relevantes no mercado de microeletrônica a partir das novas demandas de sistemas de IoT, de saúde personalizada, de veículos autoguiados e sistemas inteligentes embutidos no ambiente.

Há uma oportunidade vasta para novos atores na atividade de *design* de componentes novos. As maiores oportunidades derivarão da necessidade de coprojetar os *chips*, os sensores, os componentes passivos e todo o empacotamento eletrônico destes como um módulo (*packaging*) único – por exemplo, como um sistema empacotado em espaço 3D diminuto, da ordem de 0,1 a 2 cm em dimensão linear, em volumes abaixo de 1 a 5 cm³. Neste mercado crescente, sobressai a oportunidade de incorporação de sensores novos aos circuitos integrados, utilizando CMOS como tecnologia de base.

A integração *in-package* trará novas oportunidades de mercado para empresas de encapsulamento e teste de componentes, desde que se especializem em integração de dispositivos muito heterogêneos em fator de forma compacto e em três dimensões. A inovação na indústria do *back-end* será muito demandada para atingir novos mercados e introduzir produtos de IoT inovadores.

As demandas dessa próxima década, seja por componentes para IoT ou para outros sistemas eletrônicos, reforçarão a tendência já estabelecida à ultraespecialização de empresas na etapa do *design*, já presente nas etapas de projeto dos sistemas e de projeto dos *chips* atuais. A evolução da concorrência permite a especialização e também a chegada de novos *players* na área de *design* de *chips* e de *design* de soluções para mercados específicos, hoje considerados como não eletrônicos.

As tecnologias disruptivas de armazenamento, tratamento maciço e análise de dados (*big data*) continuarão a ser *drivers* para a evolução do tipo *more-Moore*, em que as

tecnologias de fabricação *front-end* nano-CMOS evoluirão para CMOS 5 a 6 nm até 2025, para atender às demandas das empresas em relação a memória, CPU multinúcleos e CPU-GPU para computação de alto desempenho. Na evolução das fábricas tipo *more-Moore* estão atualmente competindo no estado-da-arte da tecnologia apenas sete grupos empresariais de semicondutores – Samsung, Intel, Hynix, ST, TSMC, Global Foundries e Micron Technology –, os quais detêm capacidade de investimento fixo anual em capital acima de US\$ 2 bilhões. São valores expressivos, focados em poucas fábricas, que se localizam nos países já inseridos na cadeia.

Os modelos de negócios de TIC evoluirão para que os provedores de serviços para novos objetos inteligentes se aproximem e estabeleçam alianças estratégicas com empresas de *design* de componentes, na medida em que embarcarão sua propriedade intelectual-chave (o *software* e a tecnologia de serviços de informação) nos próprios componentes. Portanto, a era de IoT permitirá uma sinergia única entre novos atores e as empresas que detêm o *know-how* do *design* e/ou do encapsulamento de componentes eletrônicos. Neste sentido, haverá a tendência de aproximação estratégica entre detentores de *know-how* em componentes e das empresas de serviços de TIC habilitados pela IoT.

2.2.3 Impactos sobre equipamentos e sistemas de telecomunicações

No médio prazo, são esperados o adensamento da convergência tecnológica e a migração para plataformas de rede inteiramente baseadas em protocolo IP e comutação de pacotes. Como resultado da migração para redes inteiramente digitais, os *data centers* ganharão maior importância na infraestrutura das redes, possibilitando crescimento da capacidade e transformações nos padrões de tráfego e impulsionando aplicações de computação na nuvem.

Aliada à expansão das redes sobre IP, uma nova arquitetura de rede definida por *software* (*software-defined networks* – SDN) promete se consolidar como padrão. Essa arquitetura, que permite mover o controle da rede da borda (roteadores e *switches*) para o centro da rede (servidores), coincide com os interesses de provedores de computação na nuvem e possibilita maior flexibilidade e possibilidade de resposta em tempo real às mudanças de demanda e tráfego. Entretanto, pode ser disruptiva para fabricantes de equipamentos e sistemas, caso não se adaptem às mudanças de padrão.

Ainda não se chegou a um padrão tecnológico para a virtualização das redes, mas a tecnologia *network functions virtualization* (NFV) caminha para se estabelecer como padrão e já faz parte do desenho de equipamentos, inclusive de empresas brasileiras. A ampla adoção dessas duas tecnologias (SDN e NFV) será impulsionada principalmente pela necessidade de redução de custos para operadoras de telefonia. Estima-se que SDN e NFV possam gerar economias de 25% a 75% dos custos operacionais para operadoras, graças

a reduções em custos de provisionamento, monitoramento e *hardware* (WEF, 2017). Além da redução de custos, a virtualização também proporciona flexibilidade em nível granular, propiciando um ganho na experiência do usuário e novos modelos de negócio. A adoção atual de SDN e NFV ainda é pouco relevante, mas a previsão é de que se tornem uma parte significativa das redes de telecomunicação em 2025. Grandes operadoras, entre elas a AT&T, já demonstraram interesse em desenvolver e implementar essas tecnologias.

No futuro próximo, as redes evoluirão de duas maneiras prováveis (WEF, 2017). A estrutura de custos de operadores será transformada pelo avanço das capacidades de processamento na nuvem e virtualização de rede, que se moverá de uma estrutura de rede proprietária e cara para o uso de *hardware* genérico, comoditizado e de baixo custo, possivelmente rodando sistemas operacionais abertos, como o Linux. A infraestrutura da rede perderá gradativamente relevância para a geração de valor da indústria. O foco do investimento em inovação se dará em *software* e na ampliação da segurança, flexibilidade e confiabilidade da rede. Essa flexibilização de aplicações de rede possibilitará uma explosão de usos nas mais diversas indústrias, com aplicações flexíveis e customizadas à necessidade das verticais.

O aumento da demanda por vazão (*throughput*) no segmento *core* e *metro* de redes maduras impulsionará a substituição de cabos metálicos por fibra óptica no *backbone* das redes. Atualmente, a tecnologia de transmissão por via metálica aproxima-se dos limites físicos do material. A opção por redes ópticas mostra-se relevante, inclusive pela sua escalabilidade: a evolução da tecnologia, tanto na velocidade de emissão de sinal nos *chips* quanto na multiplexação do sinal óptico – incluindo a difusão da tecnologia *dense wave length division multiplexing* (DWDM) –, permite um constante aumento da taxa de transmissão de sinal ao longo do tempo sobre uma mesma infraestrutura instalada. Além disso, as taxas de transmissão por fibra superam as obtidas via rádio. Atualmente, taxas de 10 Gbps a 100 Gbps já estão disponíveis comercialmente, e se esperam taxas de 400 Gbps a 1 Tbps nos próximos anos.

A desintermediação observada na indústria tem potencial mais disruptivo do que já se observa: para além da competição de OTT roubando mercado de operadoras tradicionais de telefonia em regiões de baixa cobertura de rede, atores de grande escala como Google, Microsoft, Amazon e Facebook já se movimentam para atuar no segmento de *core* de rede em busca de suprir a falta de infraestrutura (WEF, 2017). O enorme potencial de investimento desses atores é uma ameaça para as empresas do segmento. A Google já tem projetos experimentais para fornecimento de telefonia fixa sobre IP e conectividade de acesso (Project Loon³, Project Fi⁴ e Google Fiber⁵), enquanto Amazon e Apple estão investindo para que o consumidor não precise mais saber quem fornece sua conectividade. Facebook está capitaneando um projeto de *switcher* óptico de

3. Fonte: Disponível em: <x.company/intl/pt-BR_br/loon/>. Acesso em: 15 jan. 2018.

4. Fonte: Disponível em: <fi.google.com>. Acesso em: 15 jan. 2018.

5. Fonte: Disponível em: <fiber.google.com/about>. Acesso em: 15 jan. 2018.

padrão aberto, a ser lançado comercialmente em breve (BORT, 2016; LYUBOMIRSKY, 2016), ameaçando o segmento de equipamentos.

O uso de *bigdata/analytics* e inteligência artificial complementa o conjunto de tecnologias de redes inteiramente sobre IP, virtualizadas e controladas por *software* (TECOMS.COM, 2017). Uma vez que as redes operando sobre SDN/NFV têm flexibilidade e capacidade de ajuste em tempo real, a adoção de inteligência artificial permitirá que as redes se administrem e se mantenham de maneira autônoma, tornando-se redes “autocurativas” (*self-healing*), reduzindo drasticamente o custo de manutenção e suporte, ao mesmo tempo em que surgem novas oportunidades de serviço.

A crescente demanda por conectividade de dados, especialmente dados móveis, pelos usuários finais, assim como a crescente difusão da IoT e computação em nuvem, que tanto pressionam a demanda por conectividade como aumentam o número de dispositivos conectados (sensores/atuadores, *gateways*, *switches*/roteadores, *data centers*), especialmente atuando em missão crítica, resultarão em uma forte pressão por soluções de geração e armazenamento de energia. O segmento de baterias espera um crescimento anual de 10% nos próximos anos. Dentre as razões disso, inclui-se a substituição de geradores a diesel por baterias na alimentação de torres celulares.

2.2.4 Impactos sobre sistemas de *software*

Devido à onda de inovações disruptivas no campo das comunicações, processamento e armazenamento de dados, novos modelos de negócio vêm sendo introduzidos, gerando mudanças nos padrões de concorrência em *software* e serviços correlatos. As tendências apontadas por diferentes analistas variam muito, devido às múltiplas oportunidades de desenvolvimento de soluções utilizando *software*. Sintetizando e agrupando tendências apontadas por diferentes empresas de consultoria e sites especializados, podemos apontar seis trajetórias principais:

- Maior desenvolvimento de *software* aberto, devido à necessidade de integrar diferentes sistemas e plataformas, participar de comunidades mais amplas e absorver novas tecnologias.
- Desenvolvimento de *software* integrado ao desenvolvimento de novos sistemas e modelos de negócios, de forma a melhorar a tomada de decisões, a interação com clientes e a escalabilidade.
- Disrupção e reorganização da infraestrutura, com o uso crescente de computação em nuvem, *software* como serviço (SaaS), terceirização e acesso à rede por meio de dispositivos móveis.
- Uso de inteligência artificial, permitindo novas aplicações e melhor comunicação homem máquina, modificando as formas de tomada de decisões, de entrega de produtos e serviços e de organização do trabalho.

- Foco no cliente interno ou externo às empresas, de forma a entender a suas necessidades e customizar soluções em produtos e serviços.
- Crescente necessidade de segurança de dados, devido ao risco de *hackers*, espionagem industrial, roubo de informações, chantagens etc.

Tecnologias disruptivas oferecem oportunidades de reorganização da estrutura da oferta de *software* para empresas fornecedoras. *Softwares* de alto valor agregado tendem a crescer mais rapidamente e apresentar tendências de maior concentração em âmbito global, embora haja espaço para exploração de nichos por parte de empresas especializadas em mercados verticais. Já os serviços de *software* de baixo valor constituem um mercado mais competitivo e pulverizado, que tende a ser suprido via terceirização e *offshoring*. Os pacotes de *software* continuam a apresentar crescimento, com forte concentração de mercado, apesar da preferência de usuários mais capacitados por *software* livre ou aberto.

A necessidade de interconexão de sistemas com padrões técnicos mais homogêneos tem levado a um aumento das exigências de certificação em âmbito global. Uma consequência visível disto é a expansão da certificação para *software* e serviços, que passou a constituir um ramo especializado. A guerra de padrões entre plataformas tem provocado o aumento da importância dos direitos de propriedade intelectual, em nítida contraposição ao *software* livre/aberto. A preocupação crescente com segurança também reforça padrões específicos e novas formas de certificação.

2.2.5. Impactos sobre dispositivos de acesso e *displays*

2.2.5.1 Computadores de alto desempenho

O desenvolvimento da inteligência artificial depende do avanço do desempenho dos computadores e da integração de soluções envolvendo HPC e IA. Já o *hardware* tende a ser projetado levando em conta aplicações práticas específicas da IA. Ou seja, primeiro define-se a aplicação, para então se desenvolver o sistema e montar o *Cluster* de alto desempenho, com os componentes e equipamentos mais apropriados.

Os elementos que vêm alimentando o desenvolvimento do mercado de computação de alto desempenho (HPC) são: a) grande volume de dados (*big data*) gerados por processos digitalizados, sensores e instrumentos (IoT), que demandam novas soluções tecnológicas de processamento e análise; b) crescente capacidade dos supercomputadores, geralmente na forma de computação em nuvem; e c) casos de sucesso em aplicações práticas, que estimulam novos investimentos.

A combinação desses elementos vem gerando uma nova geração de “máquinas pensantes” que podem automatizar tarefas complexas e processos de decisão, substituindo máquinas eletromecânicas e pessoas. A fusão do processamento lógico com

a computação numérica/estatística de alta intensidade é conhecida como *numerically intensive statistic analysis and optimization* (HPAI), integrando o HPC com algoritmos de busca e sistemas expertos baseados em IA. A fusão das tecnologias deverá impactar a indústria de TIC e as prioridades de investimentos dos usuários, influenciando múltiplos aspectos da vida humana.

Uma das tecnologias disruptivas que vêm sendo desenvolvidas para a HPC é a computação neuro/quântica. As máquinas quânticas são uma resposta às limitações da Lei de Moore, pois ampliam os limites de como os átomos e outras partículas minúsculas funcionam para resolver problemas com os quais os computadores tradicionais não conseguem lidar. Enquanto os computadores tradicionais processam *bits* de informação como zero ou um, as máquinas quânticas usam *qubits*, que podem ser um, zero ou algo no meio.

Entretanto, os computadores quânticos ainda são protótipo sem desenvolvimento, e não está claro se funcionarão melhor que os supercomputadores atuais, baseados em processamento de informação binária. A tecnologia ainda não é aplicada comercialmente, mas a IBM, a Intel, a Google e um número cada vez maior de outras empresas acreditam que isso transformará a computação, ao processar algumas tarefas importantes de forma milhões de vezes mais rápida. O modelo de computação denominado quântico tem sido desenvolvido para introduzir novas formas de processamento (ainda baseado em computadores digitais de HPC), especialmente para criptografia de dados. A IBM espera que seu computador quântico, hoje experimental, esteja plenamente operacional em 2020.

O mercado de HPC vem aumentando de forma rápida devido ao crescimento das aplicações científicas e inovações industriais e em serviços *online*, devendo atingir US\$ 33 bilhões em 2022, segundo a HPCWire. O crescimento estimado entre 2016 e 2022 é de 5% ao ano. Os principais fornecedores são IBM, HP, Intel, Microsoft, Cisco Systems, AMD, Fujitsu, Oracle, Dell Inc. e Hitachi.

A principal mudança em curso nos modelos de negócio dos fornecedores de HPC está associada à forma de entrega. Em vez da instalação do sistema no cliente (*on premise*), empresas fornecedoras estão oferecendo serviços de HPC em nuvem. Os serviços incluem treinamento, *outsourcing*, integração com outros sistemas, customização e consultoria. Trata-se de um modelo especializado de computação em nuvem no qual o usuário de HPC exige requisitos de desempenho muito superiores aos dos demais usuários de *cloud computing*.

A segmentação do mercado de computadores de alto desempenho tem por base os componentes físicos e serviços de desenvolvimento de *software*, armazenamento de dados, novas configuração de servidores e redes de comunicação. O treinamento de redes neurais, em particular, é uma atividade muito intensiva em computação e,

portanto, muito demandante de tecnologias como GPU *high-end*, 3D, memória e interconexões de alto desempenho.

Grandes empresas que atuam na Internet, como Google, Microsoft, Amazon, Apple, Tencent e Baidu, necessitam de HPC para treinamento de redes neurais e também para melhorar os mecanismos de pesquisa na web, reconhecimento de imagem, processamento de linguagem natural, controle de tráfego de dados, seleção de produtos personalizados e tradução de idiomas. Oferecer tais atividades como serviço permite ampliar a gama de usuários potenciais, que necessitam de novas ferramentas que confirmam mais inteligência e produtividade ao seu negócio, mas não contam com a capacitação e a escala necessárias para usar HPC de forma autônoma.

2.2.5.2 Displays

A trajetória tecnológica dos *displays* segue a chamada Lei de Haitz, em referência ao cientista Roland Haitz, que observou que o custo do lúmen (unidade de luz útil emitida) cai dez vezes a cada década, enquanto o montante de luz gerada por dispositivos LED aumenta 20 vezes no mesmo período, em um determinado padrão de cores. Assim como ocorre em semicondutores, tal evolução se deve a inovações radicais e incrementais em processos e linhas de produção dedicadas a novas gerações de *displays*.

Na produção de *displays*, as inovações tecnológicas são incorporadas em novas plantas, segundo o avanço na capacidade de produzir telas maiores. A produção de LCD evolui por meio de gerações, definidas pelo tamanho dos substratos que compõe a tela de cristal líquido. A cada dois ou três anos é desenvolvida uma nova geração, que exige uma nova linha de produção, resultando em múltiplas fábricas utilizando uma cadeia produtiva comum. A expansão para a décima geração (substratos de 2.880 x 3.130 mm) ainda é considerada incerta. A Sharp foi a primeira a construir uma linha dessa geração, mas nenhuma outra empresa a acompanhou até agora, devido às incertezas sobre a demanda por telas tão grandes. A Gen 10 compete com as linhas múltiplas da Gen 8, que pode produzir telas de até 52". Portanto, o ciclo de mudanças a cada dois ou três anos está se tornando mais alongado.

O desenvolvimento da indústria de *displays* vem sendo impulsionado por sucessivos ciclos tecnológicos no processo de manufatura. As mudanças em processos e materiais ao longo dos últimos 20 anos desencadearam ondas de inovações em produtos e novas plantas industriais. Os tradicionais CRT (*cathode ray tube*) saíram completamente de produção em 2014. Outra mudança foi a substituição do tipo de *backlight* utilizado para iluminar os dispositivos LCD, que a partir de 2010 passaram a utilizar *light-emitting diodes* (LED) em substituição ao *cold cathode fluorescent lamps* (CCFL).

Uma nova onda de inovações radicais está em curso, com o aperfeiçoamento do *organic light-emitting diodes* (Oled), que deverá flexibilizar e ampliar o mercado de

displays. Outras tecnologias, como *plasma display panel* (PDP), estão perdendo força e tendem a desaparecer ou ocupar nichos de mercado. Nesse contexto evolutivo, o principal problema estratégico dos fabricantes de LCD é decidir se devem entrar ou não em novas gerações de substratos. Tais inovações são arriscadas, pois sempre há incertezas sobre a demanda e sobre o desempenho técnico das novas tecnologias de processo e produto.

O setor de *displays* também se caracteriza pela guerra de padrões, devido a disputas entre rotas tecnológicas distintas ao longo do tempo. O paradigma atual é o do TFT-LCD, fato que vem confinando o plasma ao nicho das grandes telas de TV. O desafio para o atual paradigma tecnológico do cristal líquido reside nos polímeros orgânicos emissores de luz (Oled), uma inovação compartilhada com as tecnologias de iluminação.

O Oled vem ganhando novas aplicações, especialmente em nichos de mercado que requerem flexibilidade do material, mas ainda se depara com problemas científicos e tecnológicos que necessitam de enormes investimentos em P&D. Embora as tecnologias de telas orgânicas venham evoluindo com rapidez, o LCD não deixou de avançar tecnologicamente. Observa-se que a Samsung, líder no mercado de LCD, está também na vanguarda do desenvolvimento tecnológico do Oled, indicando que a transição tecnológica poderá ser administrada de forma a maximizar os investimentos realizados nas duas tecnologias.

As direções assumidas pela indústria de *displays* visam a cumprir diferentes requisitos de visibilidade, luminosidade e respostas em tempo real. Na área dos processos produtivos, o aumento das dimensões das telas exige novos equipamentos e ampla reformulação de linhas de produção, gerando problemas de qualidade e aproveitamento (*yield*).

A escolha dos fornecedores de insumos críticos também é crucial, pois os fabricantes precisam encontrar parceiros que possam responder rapidamente a variações na demanda e acompanhar as necessidades de inovação e aumento de qualidade. Por essas razões, os fabricantes de *displays* mantêm parcerias de longo prazo com fornecedores estabelecidos ou verticalizam a produção. Os fabricantes não integrados dependem de fornecedores externos para obter inovações-chave e, por isso, correm mais riscos.

A tecnologia para fabricação de LCD é complexa, tendo grande similaridade com a produção de semicondutores. Ambos requerem salas limpas avançadas, equipamentos complexos de litografia, equipamentos de deposição química ou física de vapores, sistemas de testes e robótica. Tais atividades são intensivas em capital e requerem o treinamento contínuo de técnicos e engenheiros para migrar de uma geração tecnológica para a outra, diagnosticar e solucionar problemas de *yields* e do processo produtivo.

As atividades de patenteamento constituem um indicador aproximado do ritmo de inovação no setor, geralmente ocorrendo após o investimento em atividades manufatureiras. A partir de 2000, observa-se um aumento significativo das patentes registradas no USPTO, principalmente por empresas de Taiwan e da Coreia, em detrimento de corporações norte-americanas e japonesas. Entretanto, o conhecimento tácito, incorporado por equipes de produção, é considerado ainda mais relevante para a introdução de inovações de processo. Na medida em que a produção de LCD se moveu do Japão para Coreia e Taiwan, ocorreu um processo de transferência de tecnologia tácita, com a migração temporária de engenheiros especializados.

A fabricação de LCD tem economias de escala e exige elevados investimentos. Estima-se que uma nova planta de nona geração custe em torno de US\$ 2 bilhões e que se torne obsoleta em menos de cinco anos. Similarmente ao que acontece em semicondutores, as economias de aprendizado e o aumento da escala de produção vêm provocando uma rápida redução nos preços.

Em consonância com a Lei de Hartz, a Hendy Consulting (2012) calcula que, nas últimas duas décadas, o preço dos dispositivos caiu 20% ao ano em média, devido ao intenso processo de competição. A queda de preços vem reduzindo as margens de lucro dos fabricantes, que buscam novas alternativas de mercado para retomarem o crescimento. Uma das estratégias adotadas pelas empresas é a mútua substituição de produtos (*fungible fabs*), que permite que os fabricantes de grandes painéis forneçam também pequenos painéis a partir de seu corte. Tal estratégia promove o melhor aproveitamento da capacidade instalada existente, mas resulta na redução do nicho de mercado ocupado por produtores de pequenas telas.

As guerras de preços, por um lado, beneficiam consumidores, mas, por outro, prejudicam a lucratividade das empresas do ramo. A diferenciação dos produtos por meio da inovação é vista como a única saída para a armadilha das *commodities*. Entretanto, a tendência dos produtos *premium* é se transformarem rapidamente em *commodities*, devido à rápida resposta dos concorrentes.

A indústria de *displays* vem adotando dois modelos de negócios, que influenciam a dinâmica da indústria em direções distintas. O primeiro é adotado pelas empresas coreanas líderes do mercado mundial (Samsung e LG) e consiste, essencialmente, em buscar a integração vertical para agregar valor, promover a diferenciação de produtos e obter economias de escopo nos mercados de computadores, televisores e celulares. Tal estratégia requer marcas próprias, grande capacidade de investimentos e liderança tecnológica em uma ampla gama de áreas e capacitações. As raras empresas que lograram reunir tais recursos vêm ampliando sua parcela de mercado e conseguindo manter margens de lucros positivas.

O segundo modelo reside na especialização na produção para terceiros em regime de OEM (*original equipment manufacturer*) e/ou ODM (*original design manufacturer*).

A diferença entre os dois regimes é que no OEM o proprietário da marca desenvolve o produto e terceiriza sua fabricação, enquanto no ODM o fabricante terceirizado, além de fabricar, também desenvolve o produto. Esses modelos são adotados principalmente por empresas de Taiwan, como a AUO, Chi Mei e Foxconn, que abastecem diferentes marcas de produtos eletrônicos e são muito intensivas em capital e tecnologia. Elas foram capazes de substituir operações de fabricantes estabelecidos no Japão, na Europa e nos Estados Unidos, em função de sua capacidade de inovação e maior competitividade em custos. Entretanto, quem não controla marcas sofre mais com variações bruscas na demanda e com os custos de transação inerentes a um mercado muito competitivo.

Em síntese, podemos destacar os seguintes impactos das inovações nos padrões de concorrência em *displays*:

- A busca de sinergias por meio de um processo de integração vertical, que abrange etapas críticas da cadeia produtiva, desde a fabricação de componentes até a produção de bens eletrônicos com marcas próprias. Tal padrão tem sido bem-sucedido para a incorporação de inovações exclusivas na Coreia e em Taiwan, mas pouquíssimas empresas no mundo têm condições técnicas e financeiras de segui-lo.
- A exploração do aprendizado cumulativo obtido com base na experiência anterior na fabricação de dispositivos eletrônicos semicondutores tem sido fundamental para fabricantes de Taiwan e China, já que a tecnologia de manufatura apresenta características e fases comuns com os *displays*.
- O setor vem se tornando cada vez mais intensivo em capital, pois é necessário manter investimentos maciços, por meio da construção de novas plantas que incorporam novas gerações tecnológicas.
- A capacidade inovadora requer investimentos massivos em P&D, alianças estratégicas e uma visão global do mercado e da tecnologia.

2.3 Experiência brasileira

As TIC constituem a principal fonte de tecnologias disruptivas para a indústria, sendo também muito impactadas por elas. Os principais impactos previstos da IoT no sistema de TIC estão a montante da cadeia de valor, especialmente em: microcontroladores, sensores e atuadores; *microchips* para uso embarcado; e capacidade de processamento distribuída (*cloud* e *fog*). Haverá grande necessidade de sensores com dimensões reduzidas, baixíssimo consumo de energia e custos compatíveis. Dentre as principais tecnologias, destacam-se: semicondutores MEMS (*micro-electro-mechanical systems*), que requerem técnicas e materiais de nanotecnologia; tecnologias de rede para processamento local (tempo real ou não) e para transmissão de dados; novos algoritmos para processamento, em linguagem compatível com os sensores e atuadores.

Fornecedores de circuitos integrados já oferecem soluções para IoT com diferentes graus de customização e atendendo a um conjunto mais específico dos requisitos da “coisa” a interconectar. Em um prazo estimado entre cinco a dez anos, soluções completas para IoT, mais facilmente customizáveis, serão disponibilizadas para diversas verticais de mercado. Essas soluções-componentes são, por exemplo, os SoCs (*systems-on-chips*), contendo módulos de comunicação (geralmente sem fio) e sensores embarcados; processadores *open-source*; desenvolvimento de SoCs customizados; e dispositivos e *softwares* para segurança e privacidade.

No campo da IA, os impactos transformadores sobre o sistema produtivo TIC no Brasil deverá ser gradual. Inicialmente não serão disruptivos, mas apresentam potencial de abertura de oportunidades para novos atores com o desenvolvimento de inovações de produto e modelos de negócios. A difusão da inteligência artificial depende da integração de sistemas nas organizações, condição indisponível na maioria dos potenciais usuários. Sistemas legados pouco compatíveis entre si, tanto no interior da empresa quanto na cadeia produtiva, constituem uma barreira à IA dificilmente superável em curto prazo. O desenvolvimento de novas aplicações e a customização de IA para usuários distintos requer recursos humanos qualificados difíceis de obter, pois são disputados internacionalmente. A velocidade de difusão de IA depende também da disponibilidade de redes de comunicações de alta velocidade e da capacidade computacional para processar e tornar disponíveis grandes volumes de dados. A IA está se difundindo mais rapidamente nos segmentos de serviços avançados de *marketing*, como o cruzamento de múltiplos referentes a padrões de consumo, preferências políticas e sociais e localização de usuários e consumidores.

A indústria de TIC é ao mesmo tempo o principal usuário e a fonte tecnológica fundamental para a operação das redes de comunicações. A informática vem imprimindo suas características sobre o setor de telecomunicações tradicional, abrindo caminho para a próxima fronteira de convergência com a automação. Nos próximos anos ainda haverá importantes desafios tecnológicos e de mercado para promover essa convergência. O crescente papel do *software* nos equipamentos e nos sistemas de comunicação é uma das forças de transformação setorial.

Os impactos transformadores das novas tecnologias de redes no sistema produtivo TIC estão associados à criação de oportunidades para os segmentos de *hardware* e de serviços técnicos especializados. Representam também uma ameaça para empresas de telecomunicações e TV por assinatura que mantiverem serviços muito caros diante das opções baseadas na Internet. A expansão do uso de redes privadas e tecnologias proprietárias nas redes pode provocar um aumento de barreiras à entrada de empresas de menor porte. No Brasil, a pouca disponibilidade de infraestrutura em grande parte do país poderá retardar a ampla difusão dos serviços avançados em rede.

A virtualização e integração de plantas industriais a seus clientes e fornecedores deverá criar uma demanda por componentes customizados, abrindo oportunidades

para projeto e/ou fabricação de produtos como sensores, atuadores e MEMS, SoCs, controladores inteligentes da produção e *middleware/gateways*. A necessidade de novos *hardwares* e *softwares* embutidos criará oportunidades para a produção de *chips* dedicados, com menores escala produtiva e capacidade de processamento (*application specific integrated circuits* – ASIC).

No Brasil, as oportunidades advindas da tecnologia de produção inteligente e conectada para a indústria estão mais associadas ao *design* do sistema, projetos de componentes e desenvolvimento de *software*. A fabricação de dispositivos microeletrônicos poderá se dar em produtos de menor escala e desenvolvidos para aplicações específicas.

A nanoeletrônica deve dar uma contribuição abrangente em todo o setor de *hardware*. Uma lista ilustrativa de inovações incrementais previstas para as TIC nos próximos cinco a dez anos inclui dispositivos eletrônicos com componentes de 25 nm ou menores; circuitos eletrônicos impressos em diferentes substratos, eletrônica flexível, células fotovoltaicas impressas (e, portanto mais baratas em sua fabricação), gerando eletricidade a partir da luz solar em fachadas e janelas, sistemas nanoeletrônicos de diagnóstico médico e tatuagens eletrônicas para monitoramento de sinais vitais.

Já em relação a inovações potencialmente disruptivas, o estudo tecnológico destaca LED de grandes áreas para iluminação e *nanolasers*; e sensores onipresentes para IoT. Os impactos transformadores estão associados às inovações em circuitos eletrônicos impressos em diferentes substratos e da eletrônica flexível, abrindo variadas oportunidades de aplicações, principalmente em dispositivos de baixo custo.

2.3.1 Impactos sobre componentes microeletrônicos

A expectativa de geração de tecnologias no setor brasileiro é mais positiva para o segmento das empresas de projeto e desenvolvimento de *software* embarcado, de sistemas eletrônicos e de componentes, listadas aqui em ordem decrescente de possibilidade de impacto no mercado interno. Isso porque a intensidade de capital e os riscos de mercado e tecnológicos associados são crescentes, nesta mesma ordem: menor risco e maiores oportunidades para o *software* embarcado, maior risco tecnológico e menores oportunidades no mercado local para o projeto de componentes semicondutores mais complexos do tipo sistema sem *chip*.

As oportunidades de geração de novos produtos, tecnologias e serviços estão condicionadas por contínuas mudanças tecnológicas em *hardware* e serviços, e pela enorme competitividade associada à inovação, que são características marcantes da indústria de bens de TIC e continuarão a ditar os termos da competitividade das empresas na eletrônica mundial. As tendências tecnológicas mais significativas que estarão presentes nos próximos dez anos, condicionando a geração e a absorção de tecnologias em bens de TIC por empresas, são as seguintes:

- A componentização crescente dos sistemas eletrônicos gera desafios e oportunidades tecnológicas para as empresas de sistemas que, em resposta, devem ter alianças com empresas do setor de microeletrônica para fazer produtos diferenciados ou de melhor custo-benefício que a concorrência.
- A convergência das funcionalidades em plataformas digitais fará com que os sistemas em *chip* tenham maior complexidade e também maior risco tecnológico na sua introdução.
- A integração de serviços, mobilidade e ubiquidade nas funções dos produtos eletrônicos, que serão criadores de mercados diversos e com expansão promissora. Nesses aspectos, as aplicações de IoT serão *drivers* importantes para a indústria de componentes – pois poucos componentes (integrados no mesmo *chip* ou no mesmo *package* compacto) constituem em si mesmos os sistemas que habilitarão o sensoriamento-conversão-processamento e transmissão e recepção da informação em escala física compacta e a baixo custo. A integração com sensores nesses produtos compactos é um desafio tecnológico que requer grande especialização no mercado de componentes eletrônicos.
- A tendência ao custo zero por função, requerida do *hardware* para as aplicações ubíquas e de inteligência das coisas, significa um enorme desafio tecnológico para a indústria de manufatura eletrônica, incluindo as empresas de *back-end*, que terão de gerar tecnologias novas de empacotamento eletrônico para agregar componentes eletrônicos diversos (MEM, memória, rádio, sensores, atuadores), todos em um micromódulo. Esse setor já incorpora métodos de manufatura altamente automatizada e eficiente, e é organizado por *players* de CEM (manufatura sob contrato) em escala global (empresas como Flextronics, Foxconn, Samina). O desafio para as empresas do setor é diversificar para atender ao conjunto vasto e em evolução constante dos requisitos do *packaging* para dispositivos inteligentes de IoT (integrando, em volumes reduzidos, sensores, conversores, coletores de energia, baterias, transmissores-receptores de RF). Essa manufatura exigirá inovações, mais flexibilidade do que oferecem atualmente as fornecedoras de CEM, e deve operar globalmente no modelo OEM e ODM com alta eficiência em logística.

O maior desafio para o setor no Brasil é inserir-se em cadeias globais para o *design* de componentes semicondutores inovadores e viabilizar o crescimento deste segmento com base em demandas locais. Outra estratégia viável para essa inserção é atrair as atividades de projeto de *hardware* e de componentes das empresas globais.

Um desafio institucional importante para o segmento fabril que busca sobreviver produzindo localmente componentes eletrônicos diz respeito à microrregulação de serviços alfandegários e logísticos, morosos no país para o padrão exigido pela indústria de componentes intermediários – como os *wafers* e os circuitos integrados. É crucial promover a agilização alfandegária e logística, com regras e práticas automáticas para importação e exportação.

2.3.2 Impactos sobre equipamentos e sistemas de telecomunicações

O desdobramento das tecnologias no Brasil deve seguir o movimento global. Historicamente, a demanda por equipamentos e sistemas de rede no país tem seguido o padrão mundial, com um pequeno atraso devido às características socioeconômicas locais. Um objetivo da política industrial para o setor deve ser a diminuição desse hiato temporal na difusão de tecnologia no país.

Em todo o mundo, e também no Brasil, as operadoras de telefonia estão migrando para um sistema de redes inteiramente digitais baseadas no protocolo IP (*Internet protocol*). Contudo, este processo exige um investimento alto na atualização da infraestrutura, devendo acontecer gradualmente. As empresas nacionais fornecedoras de *hardware* e serviços de manutenção e suporte às redes legadas continuarão a ter mercado, mas se veem diante de uma perspectiva de migração da demanda para soluções baseadas em *software* sobre *hardware* genérico. Em maior ou menor grau, todas elas já começam a migrar para soluções de *software* e serviços digitais.

A expansão do número de dispositivos conectados – celulares e computadores, IoT industrial – impulsionará a ampliação da conectividade e da cobertura de serviços, estimulando os investimentos das operadoras. No entanto, como consequência das pressões sobre as suas margens de lucro, os fornecedores de equipamentos e sistemas têm buscado novos mercados para mitigar a dependência das operadoras de telefonia, vendendo diretamente para grandes clientes industriais ou para os vários pequenos *Internet service providers* (ISP) existentes no país.

Em termo da adoção de tecnologias, estima-se um crescimento firme da adoção de *cloud computing* e o crescente desenvolvimento de estratégias de negócios baseadas na nuvem. A inteligência artificial será a tecnologia comum na estratégia de vendas das empresas do setor, que buscarão novos modelos de negócio, estratégias de *marketing*, formação de preços e serviços e pós-venda. O setor enxerga as seguintes oportunidades no horizonte do projeto:

- **Virtualização de redes já em curso:** equipamentos e sistemas já são produzidos com suporte a tecnologias SDN e NFV. No horizonte do projeto, essas tecnologias virão a se consolidar como padrão da indústria, impulsionando a migração para redes inteiramente digitais e descentralizadas.
- **Tropicalização de sensores, atuadores e dispositivos de IoT:** as condições de operação da IoT e da internet industrial no Brasil são distintas do que ocorre no hemisfério norte. Cunha (2016) ressalta que a adoção da IoT no Brasil enfrenta, além dos obstáculos comuns a outros lugares do mundo, restrições e desafios associados a características brasileiras, à trajetória do país nas áreas tecnológica, de urbanização e desenvolvimento. Logo, dado o tamanho do nosso mercado, a tropicalização – adaptação e localização das tecnologias internacionais às particularidades locais de serviços e de regulação – pode constituir um diferencial para as empresas brasileiras frente a concorrentes internacionais.

- **Adoção e difusão de aplicações de IoT pela agroindústria:** diversas empresas já desenham e comercializam soluções para clientes agroindustriais, seja no controle de máquinas e implementos, seja na geração de inteligência a partir da produção e análise de dados locais.
- **Aumento da demanda por conectividade nas plantas industriais:** a conectividade deverá ser impulsionada pela Indústria 4.0, notadamente sem fio, dada a baixa exigência por vazão. Soluções de 4G em frequências não licenciadas já estão sendo comercializadas, por exemplo, em usinas de álcool, geração de energia, mineração, O&G. Com a implementação do 5G, este poderá vir a ser o padrão técnico de preferência.
- **Aumento da demanda por cobertura:** este aspecto, aliado à restrição de instalação de novas antenas em áreas urbanas densas, abre um novo mercado para as soluções de rede de menor tamanho, incluindo as *small cells* e o chamado *off loading*, ou uso de outros tipos de rede, por exemplo *wi-fi*, para tráfego de sinal originalmente destinado a terminais móveis. Com a crescente virtualização da rede, será possível o uso de um *backhaul* baseado em IP para conexão de estações rádio-base e tráfego de dados entre redes fixas, 2G, 3G, 4G e *wi-fi* (FÓRUM EDITORIAL, 2016).

A concorrência com fabricantes de equipamentos asiáticos tem ameaçado não somente as empresas brasileiras, mas também atores europeus e norte-americanos. O Brasil enfrenta desafios principalmente de ordem institucional, relativos ao elevado custo fiscal e trabalhista, à baixa escala de produção (visto que atende ao mercado latino-americano apenas) e à baixa produtividade da indústria local. A grande necessidade de importação de insumos, notadamente dos componentes eletrônicos críticos, aumenta os custos operacionais.

A competitividade do setor de equipamentos e sistemas depende, por um lado, de elevado conteúdo tecnológico e de alta qualificação da força de trabalho e, por outro, dos incentivos públicos obtidos por meio da Lei de Informática. Mantidos os incentivos à fabricação nacional, dos quais este é o mais relevante, a indústria brasileira tem chance de continuar fazendo parte da cadeia global de valor de telecomunicações, suprindo o mercado interno e latino-americano com a montagem de equipamentos utilizando componentes importados.

A expectativa é que a difusão da IoT seja mais rápida em alguns segmentos industriais e nos mercados de distribuição de eletricidade, em que as aplicações estão mais maduras e há maiores economias com a adoção da tecnologia. Os empresários entendem que a difusão da IoT da Indústria 4.0 terá pequeno impacto sobre a demanda por vazão⁶, uma vez que os sensores e atuadores, embora em grande quantidade, produzem um volume agregado de dados muito pequeno.

6. São quatro os parâmetros de desempenho de uma rede de comunicação: (i) vazão (*throughput*) ou taxa de transmissão de dados; (ii) o atraso de trânsito (*delay*) ou latência da rede; (iii) variação no *delay* (*jitter*); e (iv) taxa de erro na transmissão. As configurações de desempenho de rede variam conforme o tipo de aplicação da rede e o conteúdo que por ela trafega, por exemplo: aplicações que dependem de resposta em tempo real requerem uma latência muito baixa; aplicações que dependem de precisão na resposta exigem uma baixa taxa de erro e variação da latência (*jitter*); aplicações que trabalham com grande volume de dados, incluindo *streaming* de vídeo, imagens tridimensionais etc., exigem grande vazão, enquanto aplicações de pequeno volume de dados, tais como sensores, exigem pequena vazão.

A expansão do consumo de *streaming* de vídeo (por exemplo, Netflix) é mais significativa para a demanda de vazão do que as aplicações de Indústria 4.0. Aplicações de biotecnologia, carros autônomos, sistemas ciberfísicos, processamento de imagens em 3D e em tempo real e computação de alto desempenho para desenvolvimento de novos materiais demandarão grande largura de banda e baixa latência, estimulando o investimento em redes ópticas.

Alotse mostra como um mercado aberto, muito diversificado, com alta heterogeneidade de produtos, com baixas barreiras à entrada. As operadoras de telefonia são os atores potenciais naturais para atuação neste mercado, mas há oportunidade para outros, por exemplo, empresas do setor elétrico, em que a vazão da rede não será um fator crítico, mas sim a cobertura e o alcance de sua infraestrutura.

A difusão das tecnologias de virtualização de redes (SDN, NFV) tornará *ohardware* menos relevante, diminuindo a força das marcas e abrindo espaço para fornecedores nacionais de *hardware* com bom desempenho e menor custo, ainda que de marcas desconhecidas. Por outro lado, o foco em baixo custo diminui ainda mais a lucratividade da comercialização de *hardware* para redes.

2.3.3 Impactos sobre sistemas de *software*

Há uma percepção entre as empresas de capital nacional consultadas de que as companhias globais procuram abraçar o máximo que podem, em termos de atividades que adicionem valor aos seus produtos; no entanto, firmas domésticas vislumbram oportunidades à medida que avance a difusão e absorção de tecnologias disruptivas de IoT e Indústria 4.0.

Pequenas empresas de *software* têm consciência de que, embora muitas soluções continuem vindo já prontas do exterior, firmas domésticas precisarão acompanhar as tendências em termos de inovação, aproveitar a disponibilidade de incentivos governamentais para P&D e capturar o surgimento de soluções que agregam valor.

Há uma tendência no setor em direção a modelos *open source*. As caixas fechadas estão sendo crescentemente abertas pelos próprios fornecedores, interessados na disseminação de seus produtos para obter uma massa maior de clientes e angariar recursos com base em outros modelos de negócio. Em áreas como IoT, linguagem cognitiva, *machine learning*, *big data* e *analytics*, as plataformas de tratamentos de dados estão quase todas na nuvem, e muitas encontram-se abertas para quem tiver necessidade de conhecer como é feito, evoluir, simplificar e criar vertentes mais específicas. Portanto, haverá espaço para o mercado nacional trabalhar sobre tecnologias distribuídas, e isto deverá se ampliar num horizonte de cinco e dez anos. Todavia, aqueles que não se atualizarem em relação às tecnologias inteligentes correm o risco de ficarem obsoletos, presos a *commodities* e verem definharem seus mercados, sobretudo em TI baseada em Internet.

Todas as atividades econômicas deverão sofrer impactos em seus modelos de negócios. Algumas, como mídia, finanças, telecom e TI, já estão bem avançadas no processo de transformação digital. Atualmente observa-se a rápida digitalização dos processos de negócios no varejo, saúde e educação. A indústria manufatureira e a mineração são relativamente menos afetadas pela mudança nos modelos de negócio, pois ainda utilizam as TIC essencialmente para aumentar a produtividade dos processos existentes. A difusão do paradigma 4.0 tende a ocorrer gradualmente.

Uma das principais empresas de *softwares* entrevistadas – a Stefanini – apontou a tendência de combinar tecnologia e novos modelos de negócios. Em muitos casos, a TI utilizada não é o aspecto mais importante, mas sim o *mindset* exigido pela transformação digital. A TI passou a ser definida no *core* dos negócios, e não mais em uma área especializada da empresa. Por exemplo, um grande banco brasileiro vem exigindo que todos os seus altos executivos estudem programação, pois precisam incorporar TI na redefinição de suas atividades. Os orçamentos tradicionalmente alocados ao setor de TI estão sendo transferidos para as áreas de negócios. Por sua vez, o profissional de TI deixou de ser apenas um especialista em tecnologia e passou a incorporar conhecimentos sobre os processos de negócios.

Um alerta importante, apontado pela OLX, empresa de serviços de TI, diz respeito à escassez de trabalhadores qualificados. Houve consenso de que se trata de um problema sério, mas os entrevistados ponderaram que um fator potencialmente limitante, e talvez favorável ao Brasil, é que o profissional de TI valoriza bastante a qualidade de vida e, por isso, muitos poderão não se mostrar interessados em emigrar, caso encontrem aqui condições de remuneração e de reconhecimento profissional.

Outro desafio assinalado diz respeito à aplicação de tecnologias inteligentes em plantas industriais, o que envolve a escassa habilidade específica necessária para construir compatibilidade e interoperabilidade entre sistemas legados. Na visão dos entrevistados, esse processo evoluirá por meio de soluções híbridas, ou seja, processos automatizados e manuais convivendo e se integrando progressivamente. A economia colaborativa será a saída para parte dos indivíduos sem as novas qualificações exigidas, já que uma parcela importante será deslocada da indústria, por conta da digitalização e automação de processos.

As expectativas das empresas desenvolvedoras e usuárias de *software* consultadas estão sintetizadas abaixo:

- Domínio das empresas globais no provimento de soluções inteligentes (todas as empresas).
- Avanço da servitização (todas as empresas).
- Expansão de arquiteturas abertas/*open source* (GRM e OLX).
- Novos modelos de negócios do tipo *product-as-a-service* e *product-sharing* (todas as empresas).

- Oportunidades para novos serviços intensivos em conhecimento, que dependem, porém, da existência de capacitação (GRM, OLX, Twist e Rhodia).
- Ameaça de realocação da produção para países desenvolvidos (Rhodia, OLX e Promec).
- *Startups* localizadas em parques tecnológicos terão maior chance, em razão do acesso mais fácil ao *pool* de mão-de-obra qualificada e a outras empresas/clientes que compartilham o mesmo espaço (Promec, Twist, Lemobs e Ambev).
- *Startups* em geral entendem bem da base técnica dos negócios, mas são deficientes em matéria de modelos de gestão (Stefanini).
- Quando for viável tecnicamente, as firmas industriais brasileiras começarão a se transformar parcialmente em empresas de *software*, e o problema da escassez de mão-de-obra se agravará (OLX e Rhodia).
- Efeitos tendem ser mais destrutivos para setores mais passíveis de conversão digital, como a indústria eletroeletrônica por exemplo (GE).
- Os preços dos serviços de TIC é hoje 30% menor que há quatro anos e deverá cair mais 30% nos próximos três ou quatro anos, provocando a quebra de empresas de *software*/serviços que não atualizarem tecnologias e modelos de negócios. Isto já ocorre, por exemplo, via aumento da produtividade em *call centers*, *help desks* e *outsourcing*, tanto pela curva de aprendizagem como pela difusão de novas tecnologias, como a inteligência artificial (Stefanini).

As tecnologias disruptivas deverão substituir as antigas de forma mais ou menos rápida, dependendo da importância da área de atividade e dos sistemas legados. Apesar das expectativas infladas sobre IoT e IA, as novas tecnologias serão adotadas de forma gradual, pois exigem mudanças difíceis de implementar devido a práticas arraigadas e à resistência dos executivos. É necessário um aprendizado contínuo na adaptação e no uso das novas ferramentas, além de muito treinamento, não apenas técnico, mas na formação de uma nova mentalidade na concepção dos negócios. Entretanto, não se pode deixar de investir em novas tecnologias, pois uma grande defasagem poderá criar um *gap* difícil de superar. Existem riscos tanto para retardatários quanto para inovadores pioneiros que adotam tecnologias ainda não suficientemente consolidadas. Os velhos produtos e serviços, que ainda produzem valor, devem financiar os novos, que são promessas para o futuro.

O aumento do componente *software* das redes, em particular na IoT, eleva a importância deste em todo o sistema de TIC. Empresas com *expertise* em sistemas de gestão e integradoras terão oportunidade de assumir novas posições na indústria, no papel de orquestradoras da produção, como detentoras das plataformas e na gestão do ciclo de vida dos produtos. A seguir são destacados os principais impactos apontados pelas empresas consultadas⁷:

7. Subseção baseada em entrevistas semiestruturadas, realizadas entre junho e agosto de 2017, realizadas pelos pesquisadores responsáveis pelo estudo do SP TIC e respectivos Focos Setoriais, junto às empresas de *software* e serviços de TI: GRM Soluções de Internet, OLX, Bornlogic, Twist, Promec, Lemobs e Stefanini, e com as empresas predominantemente usuárias de ferramentas de *software* (embora também desenvolvedoras): Rhodia/Solvay, Amyris, Clariant, Aquafluxus, Ambev e GE. No caso da Clariant e da Amyris, foi feita uma abordagem junto a um de seus executivos no Congresso Mundial de Química, realizado em São Paulo em julho de 2017. Em relação à GE, visitou-se o Centro Global de P&D no Rio de Janeiro.

- Crescimento de inovações dedicadas ao segmento de *healthcare*⁸ (IBM, Siemens, GRM e GE).
- Novos métodos de precificação, baseados na segmentação dos mercados e captura de valor por meio da customização (Clariant e *startups*).
- Miniaturização de processos (Rhodia e Ambev).
- Possibilidade de operação remota de plantas, com a difusão de tecnologias como IoT, nuvem e IA (Rhodia, Promec, GE e Clariant).
- Novos modelos de negócios apoiados em SAAS e PAAS (Twist, Lemobs e OLX).
- Crescente automação de processos (Rhodia, Amyris, Clariant e GE).
- Substancial melhoria da gestão da carteira de clientes (GRM e Rhodia).
- Aumento da segurança no trabalho (Ambev).
- Valorização das carreiras associadas à engenharia de *software* e de sistemas e à *data science*, e consequente escassez de profissionais ligados a essas áreas (todas as empresas).
- Agravamento do problema da falta de profissionais em razão da evasão para outros países (todas as empresas).
- Necessidade de as empresas operarem em redes ou ecossistemas de inovação, pois o mundo digital, pela sua complexidade, exige parcerias e cooperação (Stefanini).

2.4 Conclusões

Dentre as tecnologias que afetam diretamente o sistema produtivo TIC, destacam-se IoT, IA, redes de comunicação, produção inteligente e conectada e nanotecnologia.

No segmento de componentes microeletrônicos, a demanda da IoT é prevista como um ciclo longo de inovações. No caso brasileiro, a expectativa de geração de tecnologias é mais positiva para o segmento das empresas de projeto e desenvolvimento de *software* embarcado, bem como de projeto de sistemas eletrônicos e de componentes. Apesar dos desafios sistêmicos, não há razão para que a indústria brasileira não venha a tirar proveito deste ciclo de inovações.

O segmento de equipamentos e sistemas de telecomunicações também deverá ser profundamente impactado pela IoT, que elevará a demanda por conectividade e o volume de dados trafegados em vários setores. Essa demanda será impulsionada pela agroindústria e pela adoção de tecnologias de produção inteligente e conectada nas plantas e cadeias industriais.

O desenvolvimento da IoT – principalmente, dado o aumento do componente *software* das redes – e o avanço da produção inteligente e conectada no Brasil tendem a reforçar o

8. Um relatório da Universidade de Stanford, *Artificial Intelligence and Life in 2030*, propõe-se a uma investigação sobre a evolução da IA e seus impactos nas pessoas, comunidades, empresas e sociedade. Elenca setores que tenderão a ser mais afetados: transporte, saúde, educação e segurança pública. Disponível em: <https://ai100.stanford.edu/sites/default/files/ai_100_report_0831fnl.pdf>. Acesso em: 17 out. 2017.

protagonismo do *software* e dos serviços associados. No entanto, a escassez de mão de obra qualificada se apresenta como um sério desafio ao desenvolvimento dessas oportunidades.

Em suma, apesar das fragilidades do sistema de TIC no Brasil, existem condições para acompanhar as inovações que se originam nos *Clusters* Tecnológicos analisados nesse documento. Entretanto, o aproveitamento de tais oportunidades requer a superação de desafios, que precisarão ser enfrentados conjuntamente por atores públicos e privados.



3

3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL

3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais no sistema TIC

Apresenta-se a seguir os principais destaques da análise dos dados obtidos pela pesquisa de campo do Projeto Indústria 2027 contemplando o Sistema Produtivo de Tecnologias de Informação (SP TIC). 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 TIC, foram obtidas 35 respostas válidas.

No SP TIC, 66,9% dos respondentes atribuem probabilidade alta ou muito alta da geração 4.0 de tecnologias digitais ser dominante até 2027. As maiores probabilidades são referentes a tecnologias digitais empregadas no Relacionamento com fornecedores (77,1%) e Desenvolvimento de produto (71,4%). A menor probabilidade é atribuída para as tecnologias aplicadas na Gestão de negócios (51,4%).

Hoje, 32% das empresas brasileiras utilizam as tecnologias digitais das gerações 3 ou 4, valor superior à média da indústria (22,2%), sendo que 2,9% do painel já adotam tecnologias da geração 4, proporção superior ao total da indústria (1,6%).

Em 2027, 27,4% dos respondentes esperam estar na geração digital 4.0, percentual acima da média do painel (21,8%). Esse número significa uma expansão importante, tendo em vista a taxa de adoção de hoje (2,9%). Nas gerações 3 ou 4 estariam 56,5% das empresas do SP TIC, proporção inferior 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 (37,1%). Já em termos do crescimento, as maiores taxas de adoção são esperadas nas funções de relacionamento com clientes e de gestão de negócios (de 0,0% para 25,7%). Em termos comparativos, a expectativa geral de difusão é maior que a média do painel, em todas as funções organizacionais.

No caso dos impactos sobre a competitividade decorrentes da adoção das tecnologias da geração 4.0, há pouca variação entre três atributos considerados, com esse percentual apresentando-se um pouco mais elevado para o atributo “prontidão”. As informações desagregadas por funções organizacionais revelam alguns impactos diferenciados. Na média, maiores impactos são observados nas funções relacionamento com clientes e de desenvolvimento de produto, mas enquanto na primeira observa-se uma ênfase no atributo “prontidão”, na segunda a ênfase recai no atributo

“customização” – sublinhando a relevância da adaptação às peculiaridades brasileiras. Nas demais funções, a ênfase recai no atributo “prontidão”.

Atualmente, a grande maioria das empresas encontra-se em estágio muito inicial de adoção das tecnologias mais avançadas. No geral, 17,9% das empresas relataram esforços que contemplam efetivamente ações em execução – percentual superior ao observado para o conjunto do painel (15,1%). Se forem consideradas também as empresas com projeto aprovado, mas não iniciado, esse percentual se eleva a 36,6% - proporção também superior ao observado para o conjunto do painel (30,4%).

Comparativamente ao total do painel, no SP TIC, como seria de se esperar, as empresas relatam maior intensidade de esforços em P&D, comparativamente a investimento e treinamento. Foi mais elevado o percentual de empresas relatando ações em execução de P&D nas funções de gestão de negócios, relacionamento com fornecedores e desenvolvimento de produto, bem como de ações de investimento na função de gestão da produção.

Como constatação geral observa-se, hoje, uma taxa de adoção das tecnologias de quarta geração extremamente reduzida. Contudo, para o horizonte de 2027 espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, o que está fundamentado na percepção do seu caráter disruptivo para a dinâmica competitiva e para a possibilidade de obtenção de ganhos efetivos em atributos determinantes da competitividade. A análise preliminar ora apresentada enfocando as diferentes funções empresariais será aprofundada na versão final do relatório da pesquisa de campo, bem como será realizado exame de cruzamentos mais detalhados das respostas proporcionadas pelo painel. Uma versão completa do relatório da pesquisa sobre o SP TIC consta do Anexo a este texto.

3.2 Desafios do sistema TIC-Brasil e respectivos focos

O ecossistema brasileiro de TIC vem se debilitando nas três últimas décadas, não apenas no que toca à produção de *hardware* e de seus componentes no país, mas também em relação à prática de atividades endógenas de inovação. Com poucas exceções, as atividades estruturadas de P&D interno perderam profundidade e importância nas empresas locais. Paralelamente, a rede de laboratórios e instituições de pesquisa públicos e privados associadas ao ecossistema de TIC avançou pouco em desenvolvimento de soluções que sobrevivam no mercado, e ainda apresentam lacunas relevantes em várias áreas. As instituições de pesquisa em TIC no Brasil apresentam agenda de pesquisa no estado-da-arte, formam recursos humanos de ponta, porém carecem de oportunidades para criar produtos e empresas.

Em contraste, o sistema mundial de TIC passou por intensos processos de transformação, especialização, terceirização e realocização, tanto das cadeias de produção

quanto das atividades de P&D. Mais ainda, os ciclos de desenvolvimento dos produtos, sistemas e equipamentos seguiu trajetórias rápidas, quando não disruptivas.

Enquanto isso, a configuração da indústria brasileira permaneceu, com pouquíssimas exceções, relativamente defasada em termos de produtos e sistemas. As novas gerações, ao serem introduzidas, reduziram as cadeias locais de suprimento de componentes e de submontagens. É fácil compreender que a componentização desses insumos e subsistemas por meio da compactação ou densificação dos respectivos circuitos-integrados ou da integração de *packages* tornou imperativa sua importação de fornecedores e unidades com alta escala de eficiência e baixo custo, em geral localizadas na Ásia.

Assim, com poucas exceções, ao perder densidade de agregação de valor local, a indústria brasileira de equipamentos de TIC foi simultaneamente esvaziando a demanda por atividades de engenharia e *design* de sistemas e produtos no país. Nesse processo, foi inviabilizada a maioria das empresas emergentes de capital nacional que começaram a vicejar nos anos 1970 e 1980.

O retrocesso foi bem mais forte na indústria de componentes, que só apresentou uma diminuta reação após 2006, graças às regulamentações das Leis do Bem e Padis. Houve também, com poucas exceções, retrocesso na indústria de equipamentos e sistemas de telecomunicações, observando-se uma redução do valor adicionado e uma crescente rarefação das atividades de P&D local, ao mesmo tempo em que o esforço demandado para inovar e competir cresceu (em valor e escopo), pela dinâmica de evolução dos produtos de TIC verificada nas empresas líderes globais.

No caso do setor de *software* e serviços associados, o desempenho foi relativamente favorável. Embora 75% dos *softwares*-operacionais embutidos em produtos e sistemas (*smartphones*, PC, computadores, equipamentos de telecomunicações) comercializados no mercado interno sejam importados de grandes empresas dominantes, houve espaço para o avanço de empresas locais em outros segmentos de *softwares*, especialmente aplicativos.

As oportunidades derivaram, por exemplo, do desenvolvimento de sistemas de ERP para médias e pequenas empresas e de outros sistemas especializados de gestão para serviços (varejo, bancos, hospitais, agronegócios, escolas, serviços de alimentação, turismo e hotelaria). As empresas de serviços associados a TI também aproveitaram essas oportunidades, tendo em comum a necessidade de customizar e/ou desenvolver sistemas novos ou adaptados às necessidades específicas dos pequenos e médios clientes, que não eram atendidos pelas soluções-padrão oferecidas às grandes empresas. Essas características específicas permitiram o fortalecimento progressivo das empresas nacionais e o acúmulo de suas capacitações, habilitando-as à condição de geradoras e difusoras de inovações. Também merece destaque a expansão recente de *fintechs* especializadas em sistemas de pagamento e *e-commerce*, competindo efetivamente com as grandes redes operadoras de cartões de crédito.

A questão central que aqui se coloca diz respeito aos desafios à construção ou reconstrução de condições técnicas, empresariais, institucionais e financeiras para que o complexo brasileiro de TIC possa defletir novos riscos e aproveitar as oportunidades que surgirão com o desdobramento das inovações disruptivas – notadamente a IoT e a Produção Inteligente e Conectada – nos próximos dez anos.

3.2.1 Desafios à geração e difusão de inovações no setor de microeletrônica

O recuo da produção brasileira de bens eletrônicos (TIC e outros), o baixo dinamismo recente da nossa indústria de transformação e a reduzida taxa de inovação local nos diversos segmentos do complexo TIC resultam na ausência de um efeito de *pulling* para os segmentos de *design* e produção de componentes eletrônicos no país. Existem apenas quatro empresas atuando no encapsulamento de *chips* de memória para módulos de computadores e celulares, cuja montagem é de alto volume no Brasil. Essas empresas atendem às montadoras de bens finais e são beneficiadas pelos PPB, que exigem a incorporação de um percentual mínimo de conteúdo local nos bens finais (PC, *tablets* e *smartphones*) incentivados. Há outras duas empresas, em diferentes estágios de implantação, voltadas para a fabricação de *wafers* (Ceitec e Unitec), cuja viabilidade no mercado é ainda cercada de riscos.

Já as empresas de *design* de microeletrônica são de pequeno porte e têm baixa inserção internacional – com a única exceção da operação de *design* da Qualcomm (anteriormente da Freescale, comprada em 2015 pela NXP e, em 2016, pela Qualcomm). Os incentivos para as empresas exclusivamente de *design* microeletrônico, incluídos pela Lei nº 11.484 de 2007 (Padis), são de pequeno impacto, já que a principal carência verificada no cenário atual no Brasil é a falta de empresas inovadoras em criação de produtos eletrônicos que, por sua vez, poderiam gerar a demanda por *designs* de novos sistemas e de circuitos integrados inovadores.

As empresas de sistemas eletrônicos, e crescentemente as empresas de fora da cadeia da eletrônica, são fortes demandantes de inovação em produtos e serviços de base eletrônica, cuja concepção está no comando da cadeia de geração de inovações em componentes micro e nanoeletrônicos. Nessas empresas, quem demanda a inovação – que eventualmente só poderá ser atendida por um novo componente, ou um componente existente cuja funcionalidade, preço e desempenho devem ser melhores que o estado atual da arte – são a engenharia de produto e a engenharia de projeto. Na origem do processo de inovação estão essas demandas, às quais as empresas de *design* de *chips* estão continuamente atentas, pois são em si mesmas oportunidades de novos negócios e de inovação. O *Cluster Tecnológico* da IoT expressa de modo claro esta dinâmica intersetorial, que é dinamizadora de inovação em componentes (não apenas microprocessadores e memórias, mas sistemas em *chip* completos), equipamentos e serviços.

A demanda derivada da IoT é prevista como um ciclo longo, para agora e para as próximas décadas. Já há, em todas as sociedades e setores avançados, um processo contínuo de digitalização e automação – uma demanda permanente para monitorar e conectar objetos e pessoas. A conexão digital entre computadores, controladores, comunicadores e outros equipamentos já é demanda presente e vem sendo atendida há décadas pelos produtores de *hardware* e de componentes, com desempenho sempre crescente em termos de vazão (em Gbps) e de latência.

O caminho inexorável em direção à “Internet de tudo” – ou, simplesmente, de mais eletrônica interconectada e autogerida – traz novas oportunidades para a indústria de *chips*. Essa demanda é um exemplo do encadeamento que pode impulsionar a área de projeto e fabricação de *chips* customizados, dessa vez com requisitos novos: custo ultrarreduzido, volume ultradenso, tudo integrando sensores e sistemas de RF com os demais elementos eletrônicos que compõem um nó ou uma “coisa inteligente”.

Não há razão para que a economia brasileira, especialmente sua indústria, não venha a tirar proveito dessa onda longa e contínua para construir bases realistas de desenvolvimento do complexo de microeletrônica. No entanto, para que as oportunidades sejam capturadas, é essencial fomentar uma indústria de soluções, de serviços e de bens finais que desenvolva no país o *design* e a engenharia das soluções, que podem ser um serviço ou um bem final de *hardware* eletrônico. Sem este encadeamento a partir da demanda – aqui denominada indústria de soluções com base em eletrônica –, o ecossistema local de empresas de componentes ficará sem mercado e sem dinamismo e não atrairá investidores nem viabilizará empreendimentos.

Portanto, o segredo para uma estratégia competitiva com chances de sucesso reside no fomento à inovação em produtos finais de base eletrônica não comoditizados e no fomento à demanda por serviços locais de *design* e engenharia de componentes e sistemas eletrônicos e do *software* embarcado nesses.

Os mecanismos de incentivo à produção local de bens de TIC (Lei de Informática, Lei do Bem, PPB por produto) e ao *design* e produção de semicondutores e *displays* (Padis) são insuficientes para mudar o *status quo* de inovação na indústria de *hardware* no Brasil, mesmo com a exigência de contrapartida de P&D local incluídas nesses instrumentos. O desafio imprescindível é reforçar o encadeamento da demanda por projetos desenvolvidos no país, estimulando as empresas demandantes e implementando políticas via contratos públicos para endereçar soluções de elevado retorno social. A caracterização e as modalidades do P&D local deveriam ser repensadas de forma coerente com esse paradigma.

3.2.2 Desafios à geração e difusão de inovações no setor de equipamentos e sistemas de telecomunicações

A indústria mundial e brasileira de equipamentos e sistemas de telecomunicações atravessa um processo de transformação em que as margens na produção de *hardware* foram comprimidas e há uma migração da alocação de valor para as camadas superiores do ecossistema, intensivas em *software* e serviços. Paralelamente, a acirrada concorrência entre operadoras de telefonia e serviços de telecomunicações pela Internet comprimiu as margens de lucro e o capital disponível para investimento em infraestrutura, reduzindo as receitas de fabricantes de equipamentos e sistemas, o que representa uma ameaça à capacidade de P&D desses fornecedores.

No caso brasileiro, a indústria montadora de equipamentos se vê pressionada por custos elevados devido a componentes importados, baixa escala e custos operacionais e logísticos comparativamente mais altos. Nesse contexto – de um lado, dependente de importações e, de outro, incapaz de concorrer em custo em outros países –, fica inviável uma estratégia de fornecedor global. No entanto, o grande mercado interno se apresenta como oportunidade para fabricantes instalados no país. A Lei de Informática tem sido capaz de evitar o fechamento de operações fabris das grandes empresas estrangeiras no país, mas é insuficiente para inverter a lógica de compactação das cadeias produtivas e a propensão a importar. Por isso, é preciso avaliar melhor o impacto dos incentivos fiscais, particularmente sobre a efetiva geração de conhecimento e inovação, visando a torná-los mais eficazes.

A difusão da IoT tende a transformar de modo peculiar a indústria brasileira de equipamentos e sistemas de telecomunicações, ao elevar a demanda por conectividade e o volume de dados trafegados em vários setores em que a infraestrutura atual é deficiente, como ocorre, por exemplo, com a demanda originada pelos agronegócios e pela mineração no Centro-Oeste e no Norte. Além disso, as atividades industriais nas regiões menos desenvolvidas também exigirão um mínimo de cobertura eficiente das redes para poderem adotar novos sistemas de produção inteligente e conectada que incluam de modo viável suas respectivas cadeias de valor, para trás e para frente.

As tecnologias de virtualização de redes, como SDN e NFV (em conjunto com a inteligência artificial e a *big data-analytics*), abrem oportunidades para aumentar a produtividade e a eficiência dos sistemas existentes. Porém, esse movimento não dispensará a busca de soluções criativas e customizadas, especialmente em áreas onde a cobertura é deficiente, com o uso de frequências pouco utilizadas.

Neste sentido, as empresas do setor de equipamentos deveriam desenvolver sistemas e projetos novos, reativando suas capacidades de P&D ou contratando o desenvolvimento dessas soluções junto a instituições de pesquisa. Será necessário adaptar-se às peculiaridades do cenário brasileiro agregando soluções pragmáticas – notadamente na esfera de sistemas de coleta de informação, *gateways* e outros equipamentos,

softwares e serviços associados aos equipamentos. A revisão das políticas e leis de incentivos deveria priorizar tais necessidades de customização ou tropicalização, de modo a estimular o desenvolvimento de sistemas conectados e inteligentes.

A coordenação entre as políticas de telecomunicações (incluindo o desenvolvimento de sistemas e soluções) e a política para a IoT deveria se estreitar em torno a temáticas de interesse público, tais como: cidades inteligentes e seus sistemas, como os *smart-grids* para distribuição de energia, água, iluminação pública; gestão territorial de redes de saúde e de educação; atendimento às necessidades de comunicações dos agronegócios; integração de pequenas cidades e comunidades em áreas remotas. O desenvolvimento de soluções de rede dedicadas a estes temas pode abrir novas oportunidades para os setores de microeletrônica e de *software*.

3.2.3 Desafios à geração e difusão de inovações no setor de *software*

Verifica-se que, a despeito das dificuldades brasileiras, o segmento de *software* e de serviços associados apresenta certo vigor no país, registrando nos últimos anos taxas de crescimento positivas e superiores à da economia como um todo. Do ponto de vista da inovação, o setor também se destaca quando comparado à média da indústria, posicionando-se entre as atividades mais intensivas em tecnologia. Em termos de faturamento, o mercado brasileiro de *software* e serviços ocupou a nona posição mundial em 2016.

Deve-se lembrar que, embora 75% do *software*-produto transacionado no mercado doméstico provenha do exterior, o desenvolvimento/prestação é predominantemente doméstico no que tange aos serviços associados a TI (ABES, 2017), gerando oportunidades para firmas locais. Algumas empresas brasileiras, como a Totvs e a Stefanini, ganharam expressão internacional e trabalham com um portfólio amplo de clientes e serviços.

O desenvolvimento da IoT e o avanço da Indústria 4.0 no Brasil tendem a reforçar o protagonismo do segmento de *software* e de serviços associados, abrindo uma série de oportunidade de aplicação de tecnologias disruptivas, tais como IA, *cloud* e *big data analytics*, todas intensivas em *software*. Os ERP e os *softwares* de manufatura avançada demandarão desenvolvimentos adaptados às peculiaridades brasileiras, especialmente para o universo das MPE e para as cadeias de valor mais longas e complexas. A demanda sobre serviços, armazenamento e processamento na nuvem persistirá crescente.

As características das soluções que necessariamente precisam ser customizadas demandam a formação de capacitações em áreas como engenharia de sistemas, segurança em TI, engenharia de *software* e ciência de dados. À medida que a disseminação de plataformas de IoT avançar, serão multiplicadas as oportunidades de desenvolvimento de *softwares* de conexão e otimização de sistemas em várias esferas,

envolvendo pessoas, processos e infraestruturas e gerando possíveis mercados para empresas existentes e *startups*, desde que estas sejam capazes de responder às demandas emergentes.

A relativa escassez de recursos humanos (engenheiros de computação e de desenvolvimento de *software*) no país pode constituir um grave gargalo se não for rapidamente corrigida. Estima-se a existência, hoje, de um déficit de cerca de 200 mil profissionais capacitados.

No que toca à manufatura ou produção inteligente e conectada, as oportunidades também tendem a se multiplicar. Os sistemas de ERP para médias e pequenas empresas precisarão de desenvolvimento contínuo de modo a responder aos seguintes desafios:

- Auxiliar a digitalização das cadeias de suprimento, facilitando a adaptação e a sensorização de sistemas legados, visando aumentos de produtividade na cadeia de valor.
- Aumentar as funcionalidades e a utilidade dos módulos de *customer relationship*, introduzindo capacidades de *data analytics* que ofereçam suporte a decisões rápidas e eficazes de oferta comercial, *marketing*, precificação, gestão de estoques.
- Aperfeiçoar os módulos de gestão das logísticas para trás e para frente.
- Dar apoio a ciclos de reengenharia de processos de produção integrada e de gestão, à medida que as MPE evoluam para estágios mais avançados dentro do paradigma 4.0.

Tais desafios abrangem não apenas os ERP para indústria, mas também para os serviços, tais como varejo, agronegócios, setores de saúde e educação, serviços financeiros, serviços de transporte e outros. Eles demandam grande criatividade e flexibilidade para conceber soluções híbridas, que modulem a customização a partir de sistemas-padronizados. Nesse sentido, a captura das oportunidades requer a intensificação das atividades de P&D das empresas, de modo integrado às necessidades dos clientes. Demanda, ainda, o avanço de ecossistemas de P&D para gerar produtos amigáveis de *data analytics* e de inteligência artificial, a serem incorporados aos diferentes módulos dos ERP em parceria com outras pequenas empresas especialistas, *startups* e instituições de pesquisa.

Na esfera dos *softwares* voltados a sistemas avançados de manufatura, onde os principais ofertantes são grandes empresas internacionais com diferentes perfis de especialização setorial (Siemens, Honeywell, Rockwell Automation, Emerson, GE, ABB), o desafio é atrair atividades mínimas de P&D adaptativo às condições brasileiras para setores industriais usuários em que o país tem competitividade firmada – em geral em processos contínuos, tais como celulose, petroquímica, siderurgia, petróleo, cimento, cerâmicas, processamento de cítricos, bebidas. Nesses setores, dada a diversidade de gerações das plantas fabris, existe a necessidade de verticalizar e adaptar as

soluções. Por exigir certo grau de customização, as demandas desses setores também podem ser atendidas por empresas de *software*, com base em ERP especializados para grandes empresas.

No caso dos setores manufatureiros de cadeia discreta, longa, intensiva em operações mecânicas e de montagem (automotiva, bens de capital seriados, aeronáutica, linha branca) os desafios para a integração completa da cadeia de valor – do suprimento até a distribuição aos consumidores e usuários – são complexos e requerem uma evolução por etapas em direção à digitalização completa da manufatura. O processo culmina na capacidade de automatizar completamente e finalmente controlar e virtualizar, *online*, a produção nas plantas-montadoras, e de integrar, também *online*, as cadeias a montante e a jusante.

A necessidade de adaptar e desenvolver esses sistemas em condições adequadas à indústria brasileira é um desafio que demanda estímulos à instalação no país de centros de P&D das empresas ofertantes, inclusive das originárias do setor de *software*. As necessidades de customização são múltiplas e heterogêneas, e demandarão da formação de ecossistemas em que as grandes empresas demandantes e ofertantes contem com o suporte e/ou subcontratação de PME ou de *startups* de *software*, especialistas em automação industrial. Esse desafio requer a formação de recursos humanos qualificados em *softwares* de engenharia de processos e integração de sistemas de manufatura, além de suporte proativo de *seed* e *venture capital* para o surgimento e desenvolvimento de *startups*.

3.3 Implicações e síntese dos desafios para o desenvolvimento do setor de TIC no Brasil

Em primeiro lugar, deve-se reforçar a P&D empresarial, para o que é necessário: a) estruturar ampla e solidamente a P&D e a engenharia nas grandes empresas nacionais, no sentido de organizar a demanda por TIC; b) retomar a política proativa de atração de centros de P&D das grandes empresas internacionais com subsidiárias no país, inclusive na área de TIC; e c) reforçar a rede de institutos de suporte à inovação e assistência técnica de TIC para PME, sensibilizando as empresas e fomentando o avanço em direção ao paradigma da Indústria 4.0.

Além disso, ecossistemas setoriais de inovação em TIC devem ser formados e fortalecidos, o que se alcançará com as seguintes ações: a) reforçar e assegurar regularidade aos programas e estímulos à interação entre as instituições de pesquisa, laboratórios e as empresas, inclusive as PME; b) facilitar as regras de compartilhamento da propriedade intelectual; c) assegurar a segurança no trânsito de informações e a proteção de dados pessoais; e d) apoiar a interação e parcerias de centros de P&D e de empresas inovadoras locais com ecossistemas setoriais de excelência de países industrialmente avançados.

Uma outra frente de ação relaciona-se ao investimento e à qualificação da rede existente, bem como a criação de uma nova rede de laboratórios de alta capacitação em TIC. Para tanto, deve-se: a) concluir o projeto SENAI de Institutos de Inovação; b) ampliar e reforçar a rede de ecossistemas regionais, laboratórios e instituições federais de pesquisa; e c) promover parcerias internacionais com laboratórios e instituições de excelência de países industrialmente avançados.

Outro aspecto importante é a formação de recursos humanos e o fomento ao intercâmbio com centros de excelência externos, para o que se faz necessário: a) reforçar a rede de núcleos de excelência em matemática aplicada, ciência e engenharia da computação, engenharia de *software* e de redes no sistema universitário federal; b) ampliar a oferta de cursos técnicos em *software*, redes e mecatrônica no programa nacional de ensino técnico, com grade curricular atualizada; e c) fomentar o intercâmbio e parcerias internacionais com centros de excelência de países desenvolvidos.

Por fim, é necessária uma revisão das políticas de incentivo e fomento à inovação em TIC para: a) fortalecer e aperfeiçoar as leis de incentivo (Lei da Informática, Padis, Lei do Bem), de forma a aumentar sua eficácia e acelerar processos contemporâneos de inovação; e b) superar as inadequações e a morosidade do tratamento aduaneiro a insumos-chave para a produção e P&D em TIC.



REFERÊNCIAS

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SOFTWARE(2017). **Mercado Brasileiro de Software - Panorama e Tendências Estudo 2017 – Dados de 2016**. Disponível em: <http://www.abessoftware.com.br/dados-do-setor/estudo-2017>

ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. (2016). **Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica**. Relatório Anual 2016. <http://www.abinee.org.br/programas/prog17.htm>

ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. (2017). **Cenário Setorial**. 08/12/2017. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/dados/cenarios.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ALMIRALL, E., WAREHAM, J. (2011). Living Labs: Arbiters of Mid- and Ground- Level Innovation. **Technology Analysis and Strategic Management**. 23(1), 2011 pp. 87-102.

ANDRADE, E.; TIGRE, P.; SILVA, L.; *et al.* (2007). Propriedade Intelectual em Software: o que podemos aprender da experiência internacional? **Revista Brasileira de Inovação**. Vol.6 n.1, Janeiro-Junho de 2007.

ANDREESSEN, M. (2011). Why software is eating the world. **The Wall Street Journal**. Agosto de 2011.

ARAÚJO SOUZA, S. (2011). **Políticas para a Indústria de Software no Brasil: A Importância da Demanda**. Tese de Doutorado, UFBA. BAKKE, H. A.; LEITE, A. S. de M.; SILVA, L. B. (2008). Estatística multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. *Revista Gestão Industrial*, vol. 4, p. 1-14, 2008. Brasscom (2016). Anuário Brasil TI-BPO. Book 2015/2016. <http://www.brasscom.org.br/brasscom/Portugues/detInstitucional.php>.

BORDEAUX-REGO, A. (2017). **Clusters Tecnológicos e sistemas produtivos. Relatório de pesquisa para o Projeto Indústria 2027: Risco e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas**, 2017.

BORT, J. (2016). Now Facebook plans to eat the \$500 billion telecom equipment market. **Business Insider**. 01/11/2016. Disponível em:<<http://www.businessinsider.com/facebook-voyager-optical-switch-telecom-infra-project-2016-11>> Acesso em: 30/01/2018

CAMPOS, A.L.S.; TEIXEIRA, A.G. (2004). Política Industrial e Capacitação Tecnológica: Análise da Dimensão Explícita da Política Nacional de Informática (1991-1998), **Leituras de Economia Política**, v.10, 2004.

CAPGEMINI. (2015). **Big Data Payoff: Turning Big Data into Business Value**. Holborn: CAPGEMINI, 2015.

CHESBROUGH, H.W. (2003). **Open Innovation: The new imperative for creating and profiting from technology**. Boston: Harvard Business School Press.

CISCO. (2017). **The Zettabyte Era: Trends and Analysis**. White Paper, San Jose: Cisco Systems, Inc., 2017.

CLOUD 21 (2017). O que é a terceira plataforma de TI?. **Cloud 21**. [Online]. 2017. Disponível em: <<https://cloud21.com.br/computacao-em-nuvem/o-que-e-terceira-plataforma-de-ti/>>. Acesso em: 17 out. 2017

CNI. (2016). **Sondagem especial – Indústria 4.0**. São Paulo, Ano 17, n. 2, abr., 2016.

CNI/SEBRAE. (2015). **Inovar é fazer: 22 casos empresariais de inovação de pequenas, médias e grandes empresas**. Brasília: CNI, 2015.

COLUMBUS, L. (2014). Gartner's ERP Market Share Update Shows The Future Of Cloud ERP Is Now. **Forbes**. May 12, 2014. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2014/05/12/gartners-erp-market-share-update-shows-the-future-of-cloud-erp-is-now/#10317ba71fae>.

CUNHA, M. A. (2016). **Smartcities: transformação digital de cidades / Maria Alexandra Cunha, Erico Przybilovicz, Javiera Fernanda Medina Macaya e Fernando Burgos**. – São Paulo: Programa Gestão Pública e Cidadania - PGPC, 2016

DECISION (2016). **World Electronic Industries 2012-2017**. Disponível em: <<http://www.decision.eu/en/report/world-electronic-industries-2012-2017/>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

DUARTE, V. (2012). **Caracterização da IBSS. Software e Serviços de TI: A Indústria Brasileira em Perspectiva. n.2**. / Observatório SOFTEX. Campinas: Associação para Promoção da Excelência do Software Brasileiro: 2012.

EDQUIST, C. (1996). Innovation Policy – A Systemic Approach, 1999; MOWERY, D. "The practice of technology policy". In: STONEMAN, P. (Ed.). **Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change**. Blackwell, 1996.

EDQUIST, C.; HOMMEN, L.; TSIPOURI, L. (2000). (Eds.). **Public Technology Procurement and Innovation**. Boston: Kluwer Academic, 2000.

EDQUIST, C.; HOMMEN, L.; TSIPOURI, L. (Eds.). **Public Technology Procurement and Innovation**. Boston: Kluwer Academic, 2000).

ELMEZIANE (2012), **Encyclopedia of Information Science and Technology**, Third Edition editado por Khosrow-Pour, Mehdi.

ESTADO DE SÃO PAULO (2016). **Cabo submarino do Google vai ligar São Paulo e Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://link.estadao.com.br/noticias/empresas,cabo-submarino-do-google-vai-ligar-sao-paulo-e-rio-de-janeiro,10000047989>> Acesso em: 30/01/2018

EUROPEAN COMMISSION. (2011). **Knowledge-intensive business services in Europe. Brussels: European Commission**, 2012. Disponível em: https://ec.europa.eu/research/innovation-union/pdf/knowledge_intensive_business_services_in_europe_2011.pdf. Acesso em 28 mai. 2017.

FORUM EDITORIAL. (2016). **Anuário Telecom 2016**. São Paulo: Forum Editorial, 2016.

FIGUEIREDO, P. N. (2006). Capacidade Tecnológica e Inovação em Organizações de Serviços Intensivos em Conhecimento: evidências de institutos de pesquisa em Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs) no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, Volume 5, Julho/dez 2006.

FRANSMAN, M. (2007). **The New ICT Ecosystem - Implications for Europe**. Edimburgo: Kokoro, 2007.

GALINARI, R.; TEIXEIRA JÚNIOR, J. R. (2014) Serviços: conhecimento, inovação e competitividade. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, março.

GARCIA, R.; ROSELINO, J.E. (2002). **Avaliação crítica dos resultados da Lei da Informática e seus reflexos sobre o complexo eletrônico**. Texto apresentado no VII Encontro Nacional de Economia Política, Curitiba, 2002.

GARTNER GROUP. (2017). Forecast Analysis: Semiconductor Capital Spending and Manufacturing Equipment, **Worldwide**. [On-line] Gartner Group, 2017. Disponível em: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3569017>.

GEOPI-DPCT/Unicamp (2011). **Projeto de Avaliação da Política de Informática**. Relatório Final (mimeo).

GOOGLE e Facebook se aliam para cabo submarino transpacífico. **G1**, Tecnologia e Games, 12 out. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2016/10/google-e-facebook-se-aliam-para-cabo-submarino-transpacifico.html>.

GUTIERREZ, R. (2010). Complexo eletrônico: Lei de Informática e competitividade. **BNDES Setorial**. 31, p. 5-48

GUTIERREZ, R. M. V.; ALEXANDRE, P. V. M. (2003). **Complexo eletrônico brasileiro e competitividade**. Rio de Janeiro: BNDES, 2003.

IC INSIGHTS. (2016) Semiconductor R&D Growth Slows in 2015. **IC Insights**, [Online] 20 jan. 2016. Disponível em: <http://www.icinsights.com/news/bulletins/Semiconductor-RD-Growth-Slows-In-2015/>.

IDC – INTERNATIONAL DATA CORPORATION (2016). IDC, 2016. **White Paper: Mobile Edge Computing – a Gateway to 5G Era**. Disponível em: <http://carrier.huawei.com/~media/CNBG/Downloads/track/mec-whitepaper.pdf>

IDC - INTERNATIONAL DATA CORPORATION (2014). **IDC's Worldwide Mobile Phone Tracker**, 3rd Quarter 2014. Disponível em: https://www.idc.com/tracker/showproductinfo.jsp?prod_id=37.

IDC – INTERNATIONAL DATA CORPORATION (2017a). IDC Mobile Phone Tracker, **First Quarter 2017**. Disponível em: <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/vendor>.

IDC - INTERNATIONAL DATA CORPORATION (2017b). **IDC Worldwide Quaterly PC Device Tracker**, jan. 2017. Disponível em: https://www.idc.com/tracker/showproductinfo.jsp?prod_id=1541.

IDC - INTERNATIONAL DATA CORPORATION (2017c). **Worldwide Semiannual Digital Transformation Spending Guide**. 2017. Disponível em: https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=IDC_P32575.

JOHNSON, C. A. (1984). **The industrial policy debate**, 1984.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. (2013) (Eds.). **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. National Academy of Science and Engineering**. Apr. 2013. Disponível em: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf. Acesso em: 10 abr. 2017.

KENNEY, M.; PON, B. Structuring the smartphone industry: is the mobile Internet OS platform the key? **Journal of Industry, Competition and Trade**. 11 (03), 239-261

LALL, S. e TEUBAL, M. (1998). Market-stimulating technology policies in developing countries: a framework with examples from East Asia. **World Development**. 26 (8).

LALL, S.(2003), **Reinventing industrial strategy: The role of government policy in building industrial competitiveness**. 2003.

LIMA, R. R. S. (2012). Complexo eletrônico: a evolução recente e os desafios para o setor e para a atuação do BNDES. **Estudos BNDES**, Complexo Eletrônico, n. 43, 2012. Disponível em: < https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/937/4/Complexo%20Eletronico_%20a%20evolucao%20recente_final.pdf>.

LOURAL, C. A.; FURTADO, M. T.; BORDEAUX REGO, A. C.; SALLES FILHO, S. L. M.; FERREIRA, C. R.(2006a). **Prospecção Tecnológica em Telecomunicações e Cenários Políticos Alternativos: Uma Avaliação**. XXIV Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, Gramado-RS, 17 a 20 de outubro, 2006.

LOURAL, C. A.; ZANCO FILHO, R. A.; BORDEAUX REGO, A. C.; OLIVEIRA, R. C. (2006b) Technological development of Brazilian telecommunications in past decades. **Telematics and Informatics**. v. 23, n. 4, p. 294-315, 2006.

LUNDEVALL, B-A.; BORRAS, S. (2005). Science, technology and innovation policy. In: FAGERBERG, J.; MOWERY. D.; NELSON, R. **The Oxford handbook of innovation**. New York: OXFORD University Press, 2005.

LYUBOMIRSKY, I.; TAYLOR, B.; SCHMIDTKE, H-J. (2016). **“An open approach for switching, routing, and transport”**, **Telecom Infra Project, 01/11/2016**. Disponível em: <<https://code.facebook.com/posts/1977308282496021/an-open-approach-for-switching-routing-and-transport/>> Acesso em: 30/01/2018

MATTOO, A. & WUNSCH, S. (2004). **Securing Openness of Cross-Border Trade in Service: A Possible Approach**. World Bank Policy Research Paper 3237.

MEFFERT, J.; MOHR, N. (2017) Overwhelming OTT: Telcos' growth strategy in a digital world. **[Online] McKinsey and Co, Telecommunications**. jan. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/telecommunications/our-insights/overwhelming-ott-telcos-growth-strategy-in-a-digital-world>.

MOWERY, D. e ROSENBERG, N. (2005). **Trajetórias da inovação**, Ed. Unicamp. ISBN 85-268-070-5

OECD. (2001). **Science, Technology and Industry Scoreboard: Towards a knowledge-based economy**. Paris: OECD Publishing, 2001.

OECD. (2005). **Guidelines for collecting and interpreting innovation data - Oslo Manual**. Paris: OECD, 2005.

OECD. (2011). **Science, Technology and Industry Scoreboard: Innovation and growth in knowledge economies**. Paris: OECD Publishing, 2011. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/9211041e.pdf?expires=1496009247&id=id&accname=guest&checksum=39CBC5E48495BA0A1DAA26A94F7B20A9>. Acesso em 28 mai. 2017.

PAVIN, R. D. P.; KLEIN, A. Z. (2013) **Mobile ERP systems adoption: case studies in Brazil**. CONF-IRM 2013 Proceedings. 33. 2013. <http://aisel.aisnet.org/confirm2013/33>

PINHEIRO, A.; TIGRE, P. (2015) Proposta de investigação sobre o uso de software no suporte à inovação em serviços. **RAE - Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, [S.l.], v. 55, n.5, p. 578-592, set. 2015. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rae/article/view/55834>. Acesso em: 10 nov. 2016.

PORTER, M.; HEPPELMANN, J. (2014) How smart, connected products are transforming competition. **Harvard Business Review**. nov., 2014.

PORTER, M.; HEPPELMANN, J. (2015) How smart, connected products are transforming companies. **Harvard Business Review**. oct., 2015.

RASHID, HOSSAIN e PATRICK (2010) **Enterprise Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools and Applications**. Editado por Management Association, Information Resources.

ROGERS, E. M. (1995) **Diffusion of innovations**. New York: Free Press, 1995.

SHAPIRO; VARIAN (1999). **Economia da Informação**. Editora Campus.

SIMON, J.P. (2011). Are telecom services the hidden engine of innovation in the ICT ecosystem? **Network Industries Quarterly**. vol. 13, n.11, pp.11-13, 2011.

STATISTA (2017). **The portal for statistics**. <https://www.statista.com>

STEINER TECHNOLOGIES. (2017). <https://www.steinertechnologies.com>

STURGEON *et al.* (2013). O Brasil nas cadeias globais de valor: implicações para a política industrial e de comércio. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**. n. 115, abr./jun.2013.

SZAPIRO, M. (2007) As mudanças recentes do setor de telecomunicações e os desafios impostos ao sistema de inovação brasileiro. **EPTIC**, v. 9, n. 2, mai./ago.2007.

SUAREZ, F. F.; CUSUMANO, M. A.; GAWER, A. (2009) **Platforms, Markets and Innovation**.

TELECO. (2017) Cobertura das Operadoras e População Atendida. **Teleco**. 08 de junho de 2017. <http://www.teleco.com.br/cobertura.asp> (acesso em 05 de julho de 2017).

VON HIPPEL, E. (1986). **Lead users: a source of novel product concepts**. Management Science

VLSI RESEARCH (2017). **Forecast**. out. 2017. Disponível em: <www.wesrch.com>. Acesso em: 20 jan. 2018.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM (2017). **Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation, World Economic Forum**, March 2017. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf

WSTS – WORLD SEMICONDUCTOR TRADE STATISTICS.(2017). **WSTS Semiconductor Market Forecast 2017**. [Online] WSTS, 2017



ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP TIC

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 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 Analytic</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 TIC perfaz um total de 35 empresas, correspondentes a 4,6% do total da amostra.

A Tabela A1 apresenta as características da subamostra do SP TIC. Das 22 empresas que informaram o número de empregados (62,9% do total de empresas), 45,5% se classificavam como empresas de médio porte (entre 100-250 empregados); 40,9%, como empresas de grande porte (mais de 500 empregados); e 13,6%, como empresas de médio-grande porte (entre 250-500 empregados). Em termos da origem do capital, 77,1% eram de propriedade de capital nacional.

Em termos do sub-setor de atuação no SP TIC, a maioria era, respectivamente, de empresas dos setores de microeletrônica (42,9%), sistemas e equipamentos de telecom (25,7%) e demais TIC (31,4%). Por fim, em termos da localização, a maior parte dos respondentes está nas regiões Sudeste (42,9%) e Sul (28,6%).

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

	Tamanho	Tamanho % (total e com resposta)	
Grande (mais de 500 empregados)	9	25,7%	40,9%
Médias (100-250 empregados)	10	28,6%	45,5%
Médias – grandes (250-500 empregados)	3	8,6%	13,6%
Sem resposta	13	37,1%	
Total geral	35	100,0%	

	Origem do capital	Origem do capital %	
Demais nacionalidades	8	22,9%	
Nacional	27	77,1%	
Total geral	35	100,0%	

	Principal setor	Principal setor %	
Microeletrônica	15	42,9%	
Sistemas e Equipamentos de Telecom	9	25,7%	
Demais TIC	11	31,4%	
Total geral	35	100,0%	

	Localização	Localização %	
Sudeste	15	42,9%	
Sul	10	28,6%	
Norte	7	20,0%	
Nordeste	3	8,6%	
Total geral	35	100,0%	

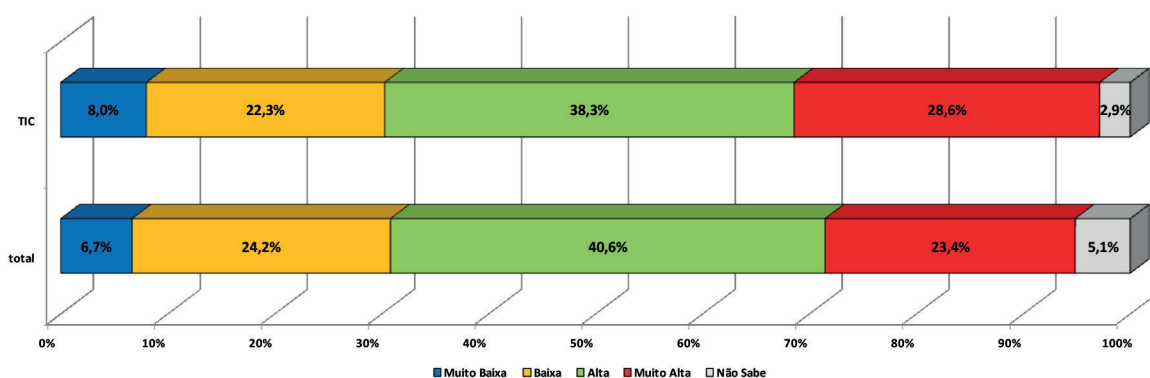
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2 Resultados

A2.1 Probabilidade de adoção das tecnologias

De acordo com as empresas do SP TIC, 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 66,04% dos respondentes, patamar superior ao observado para o conjunto da indústria (64,0%), conforme mostra o Gráfico A1.

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

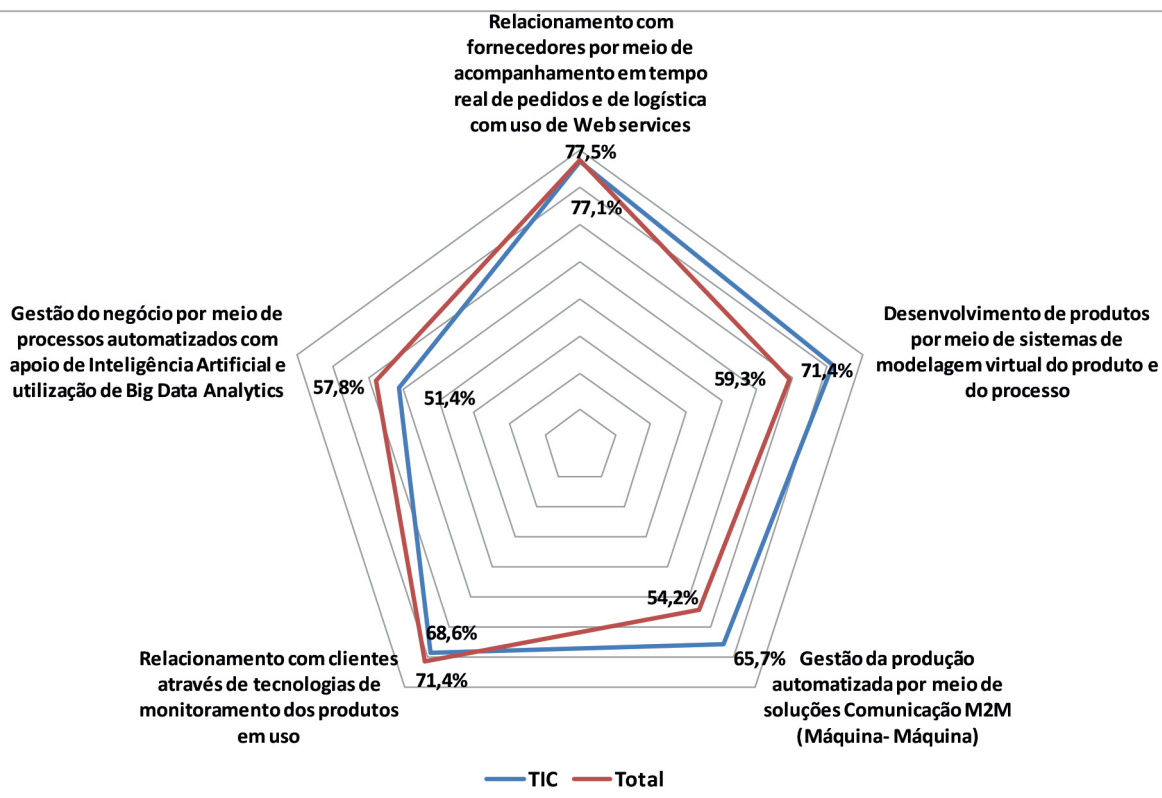


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

O Gráfico A2 detalha as expectativas do painel em termos da adoção das tecnologias 4.0 nas diferentes funções organizacionais enfocadas na pesquisa de campo. No SP TIC, é mais elevado o percentual de respondentes que atribui probabilidade “alta” ou “muito alta” de adoção dessas tecnologias na função de relacionamento com fornecedores por meio de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de *Web services* (77,1%) e na função de desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo (71,4%).

No geral, a probabilidade de difusão de tecnologias da geração digital 4.0 neste sistema produtivo aproxima-se da média geral do painel; se enfocadas as funções separadamente, é maior em TIC a intensidade de difusão nas funções de desenvolvimento de produto e de gestão da produção e menor na função de gestão de negócios.

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 TIC e total da indústria

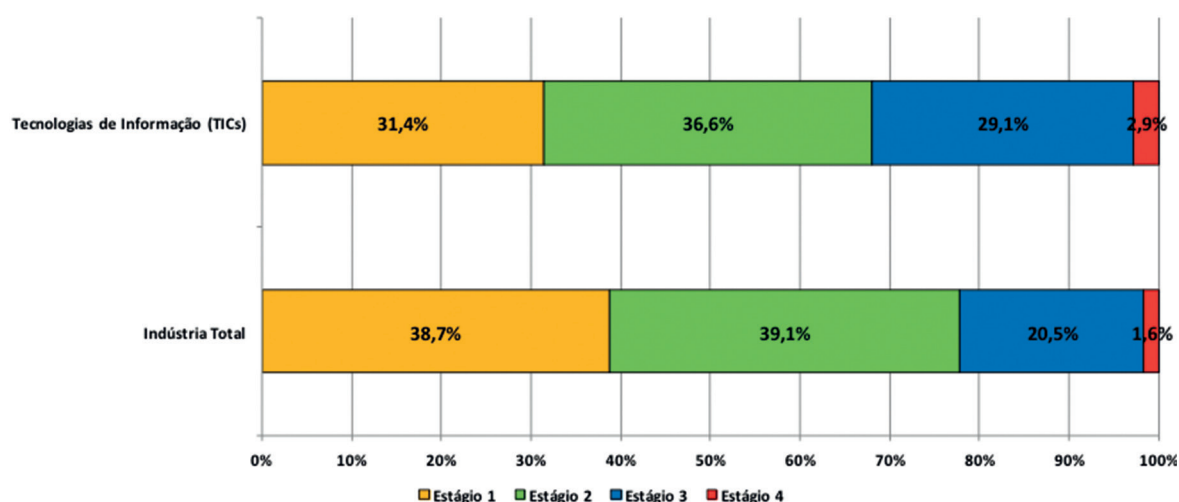


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

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 TIC, 2,9% das empresas do painel indicaram encontrar-se na geração digital 4 (Gráfico A3), percentual acima do registrado para o conjunto da indústria (1,6%). Considerando-se os que estariam nas gerações 3 e 4 conjuntamente, esse percentual atingia 32% no SP TIC, valor bem acima da média geral (22,2%).

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



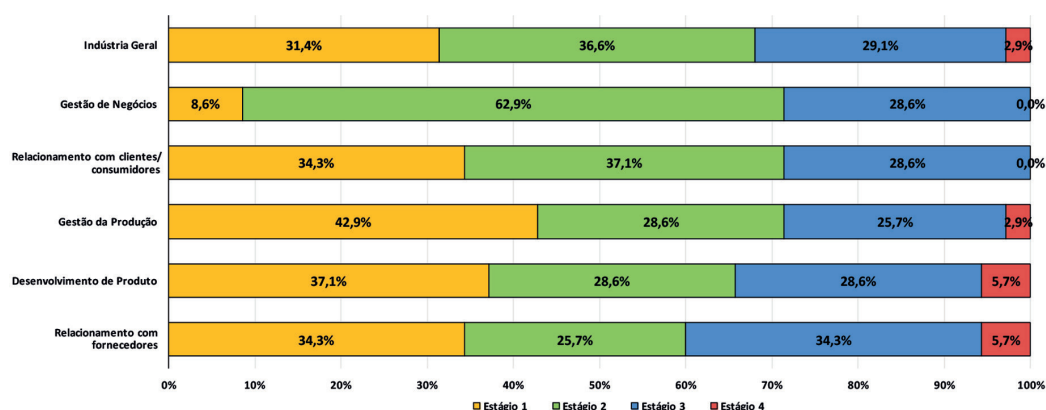
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.3 Gerações tecnológicas de acordo com função empresarial

Com relação ao estágio das tecnologias empregadas nas diferentes funções empresariais analisadas, o estágio mais avançado está nitidamente na função de relacionamento com fornecedores, na qual 5,7% das empresas adotam hoje tecnologias relacionadas à geração 4 (Gráfico A4). Observa-se também que 40% das empresas adotam hoje tecnologias relacionadas às gerações 3 e 4 na função de relacionamento com fornecedores, percentual expressivamente superior ao indicado para as demais funções.

Os resultados mais baixos na adoção das tecnologias digitais são observados nas funções de gestão de negócios e de relacionamento com clientes, com taxas de adoção indicadas de 0,0% respondentes na adoção das tecnologias relacionadas à geração 4. No caso das empresas que adotam hoje tecnologias relacionadas às gerações 3 e 4, os resultados mais baixos são observados nas funções de gestão da produção, de relacionamento com clientes e de gestão de negócios (adoção por 28,6% das empresas).

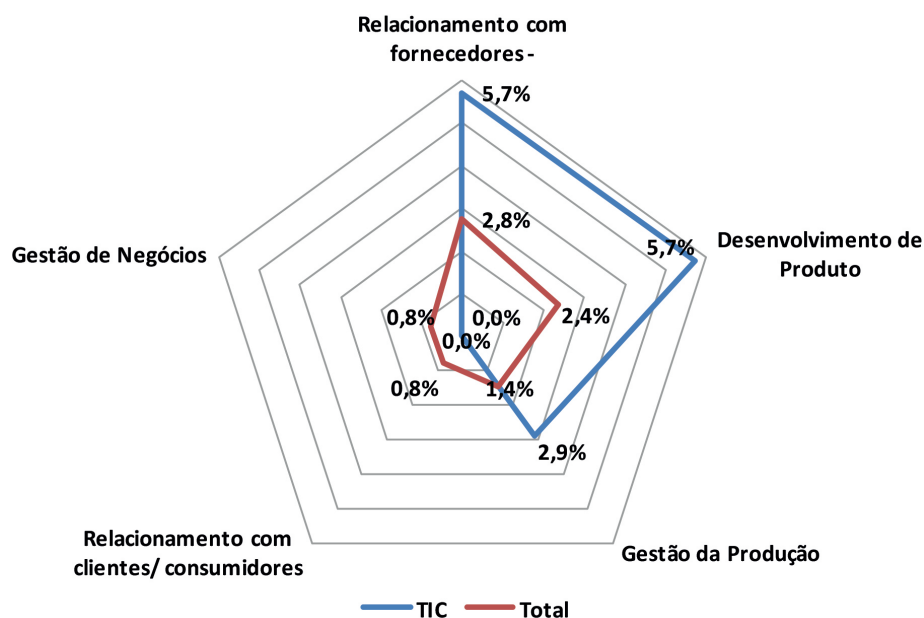
Gráfico A4 – Distribuição dos respondentes segundo gerações digitais, hoje, funções, em % dos respondentes – SP TIC



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

Essa análise pode ser mais bem qualificada por meio da comparação do SP TIC com o total da indústria, como feito no Gráfico A5. Observa-se, em geral, uma maior intensidade dessa difusão no SP TIC, com destaque positivo para as funções de Relacionamento com fornecedores (5,7% contra 2,8% para média geral), Desenvolvimento de produto (5,7% contra 2,4% para média geral) e Gestão da produção (2,9% contra 1,4%). Em contraste, nas funções gestão de negócios e de relacionamento com clientes, nenhuma empresa localizava-se hoje na geração 4, contra uma média geral de 0,8%.

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

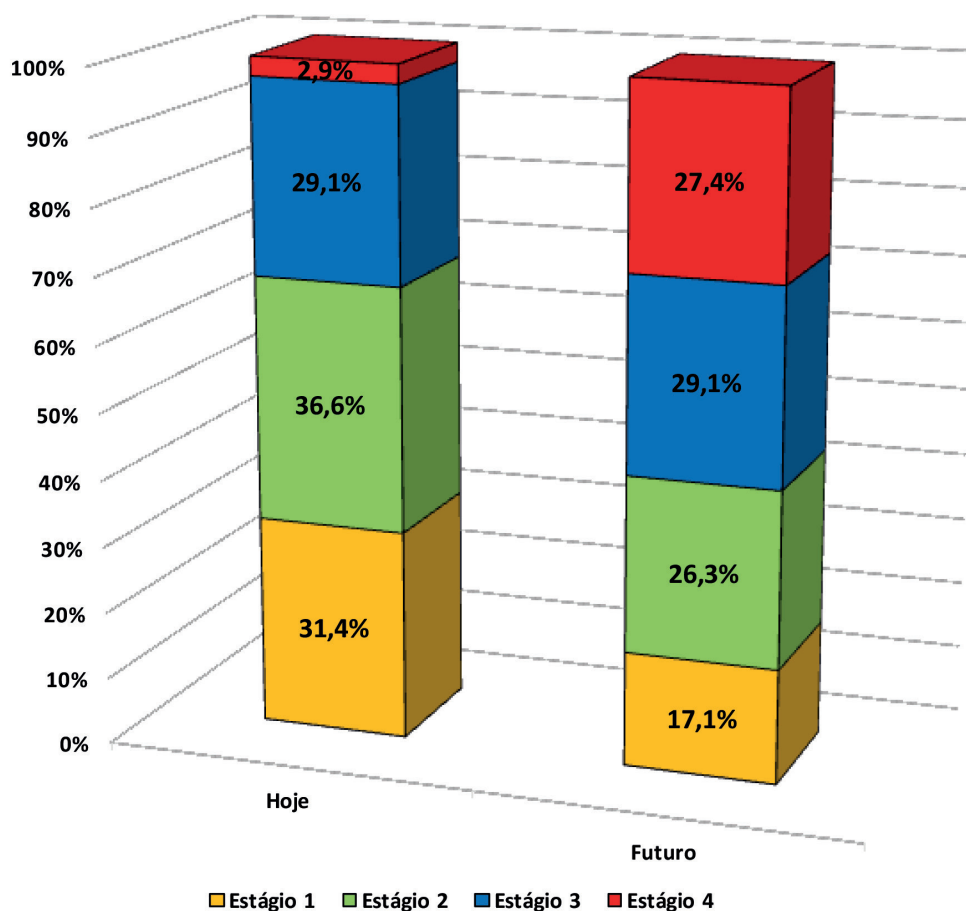


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

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. Considera-se aqui um horizonte de dez anos, que utiliza como referência o ano de 2027 (Gráfico A6). As evidências mostram um crescimento significativo da intensidade da difusão das tecnologias da geração 4 entre as empresas do painel, com uma taxa de adoção passando de 2,9% para 27,4% entre 2017 e 2027. Já o percentual de empresas localizadas na geração 3 tende a se manter estável, em 29,1%. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 32% em 2017 para 56,6% em 2027, correspondendo a um crescimento de 77% naquela participação.

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

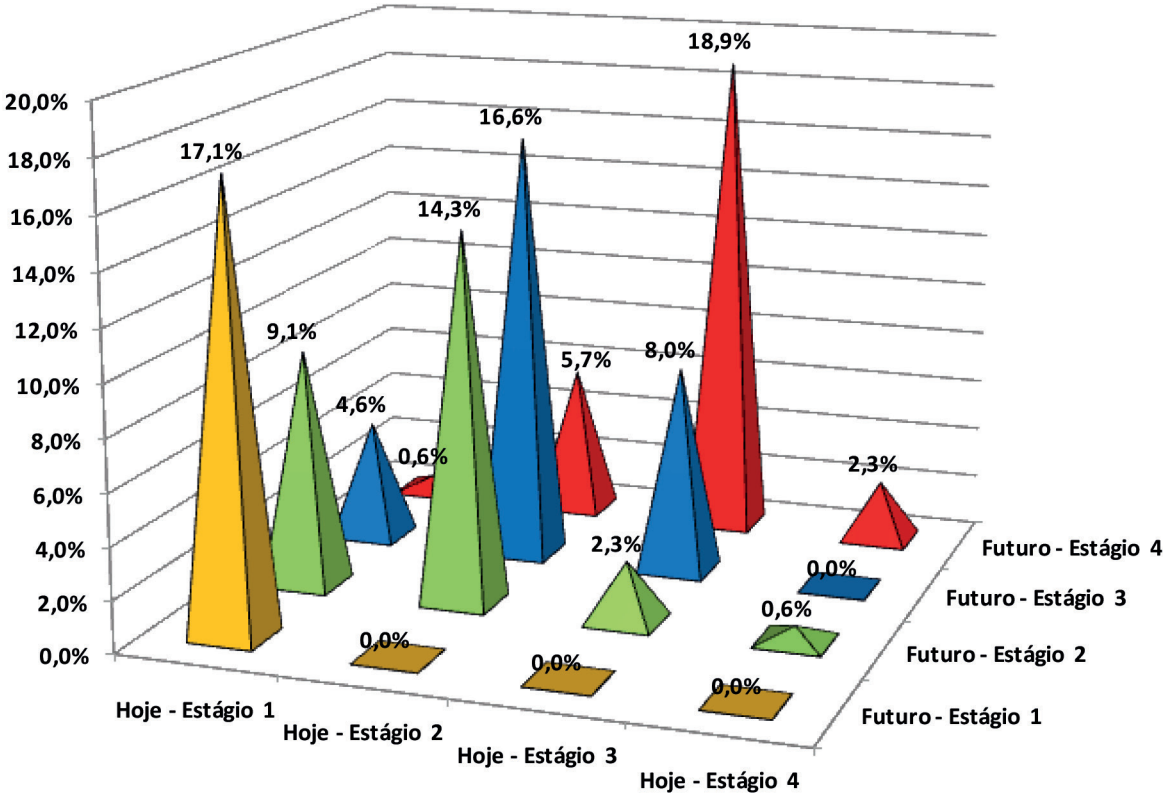


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

Alternativamente, pode-se analisar a evolução do SP Bens de Capital ao longo do período por meio da “migração” das empresas entre as diferentes gerações tecnológicas (Gráfico A7). No caso de 31,4% do total de empresas localizadas na geração 1 em 2017, a perspectiva seria de que 17,1% permanecessem naquele estágio em 2027; que 9,1% avançassem para a geração 2; que 4,6% avançassem para a geração 3; e que 0,6% avançassem para a geração 4 (o que, neste último caso, parece um pouco improvável).

No caso de 36,6% do total de empresas localizadas na geração 2 em 2017, a perspectiva seria de que 14,3% permanecessem naquele estágio em 2027; que 16,6% avançassem para a geração 3; e que 5,7% avançassem para a geração 4. Por fim, no caso de 29,1% do total de empresas localizadas na geração 3 em 2017, a perspectiva seria de que 8,0% permanecessem naquele estágio em 2027 e 18,9% avançassem para a geração 4. Numa análise conjunta, o ponto de maior destaque parece ser a migração de empresas da geração 3 para a geração 4, movimento observado para 19,1% das empresas do painel.

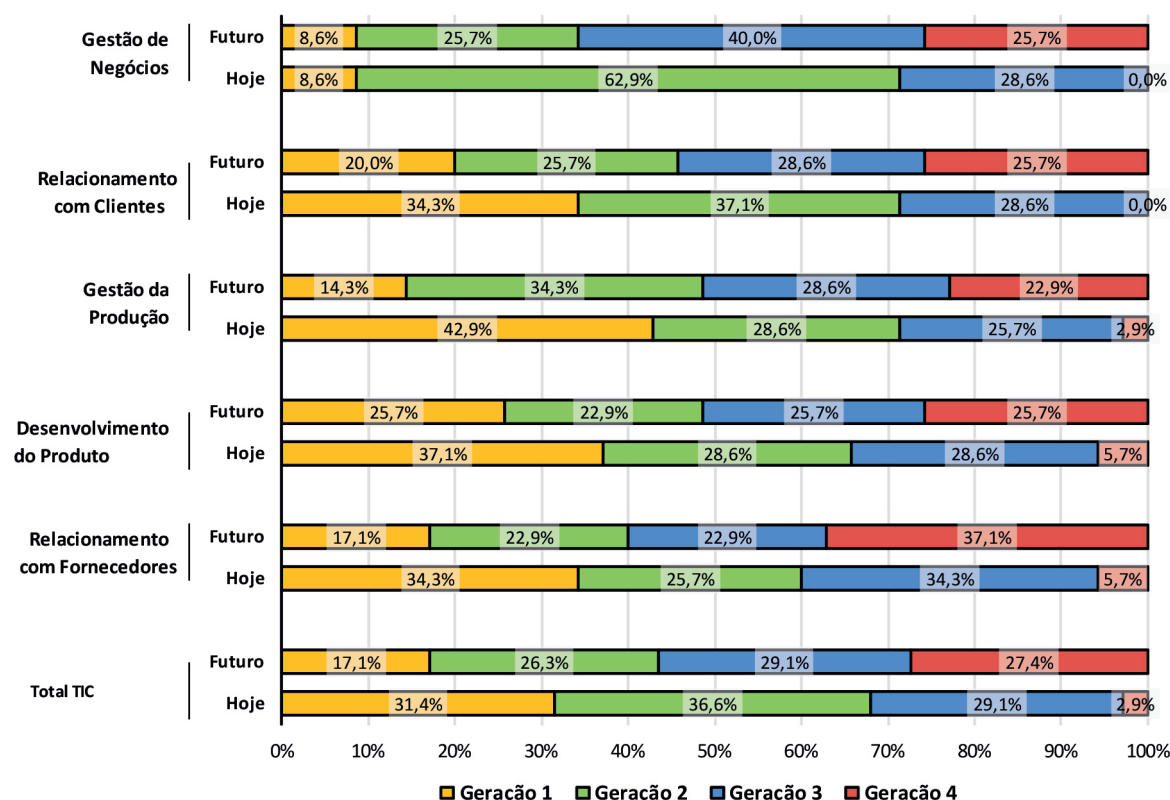
Gráfico A7 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP TIC



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 TIC 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 TIC



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 5,7% para 37,1% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 tende a se reduzir, evoluindo de 34,3% em 2017 para 22,9% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 40,0% em 2017 para 60,0% em 2027, correspondendo a um crescimento de 50% naquela participação.

Desenvolvimento de produtos

A expectativa é de crescimento da taxa de difusão das tecnologias da geração 4 de 5,7% para 25,7% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 tende a se reduzir, evoluindo de 28,6% em 2017 para 25,7% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4

evoluiria de 34,3% em 2017 para 51,4% em 2027, correspondendo a um crescimento de 50% naquela participação.

Gestão da produção

A intensidade da difusão associada à geração 4 deverá expandir-se de 2,9% para 22,9% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 25,7% em 2017 para 28,6% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 28,6% em 2017 para 51,4% em 2027, correspondendo a um crescimento de 80% naquela participação.

Relacionamento com clientes e consumidores

Espera-se que a intensidade da difusão associada à geração 4 evolua de 0,0% para 25,7% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 tende a se manter estável em 28,6%. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 28,6% em 2017 para 54,3% em 2027, correspondendo a um crescimento de 90% naquela participação.

Gestão de negócios

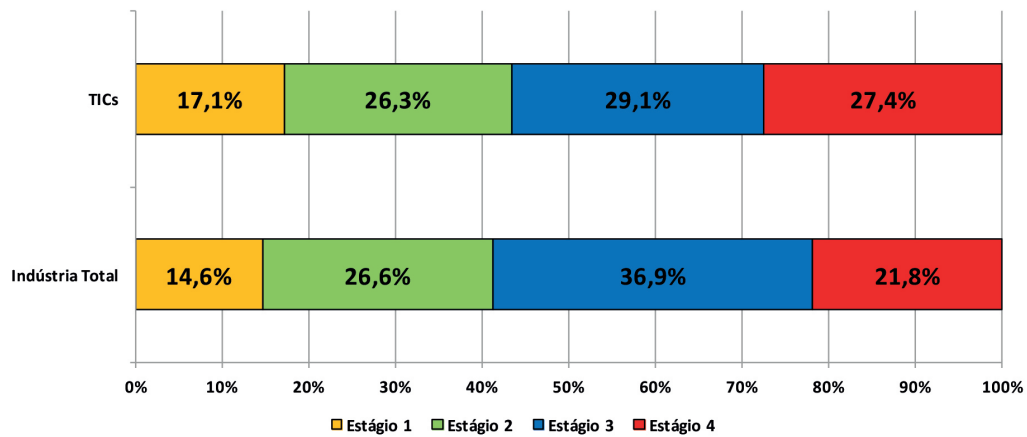
A intensidade da difusão associada à geração 4 deve crescer de 0,0% para 25,7% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 28,6% em 2017 para 40,0% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 28,6% em 2017 para 65,7% em 2027, correspondendo a um crescimento de 130% naquela participação.

A2.5 Difusão futura – comparação entre funções

É possível também comparar a expectativa de difusão futura de tecnologias digitais observada no caso do SP TIC 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 do SP TIC, verifica-se que 27,4% das empresas tinham expectativa de atingir a geração 4, percentual acima do total geral do painel (21,8%). Quando se considera o percentual conjunto das gerações 3 e 4, esse percentual atingia 56,5% no SP TIC, valor inferior à média geral (58,7%).

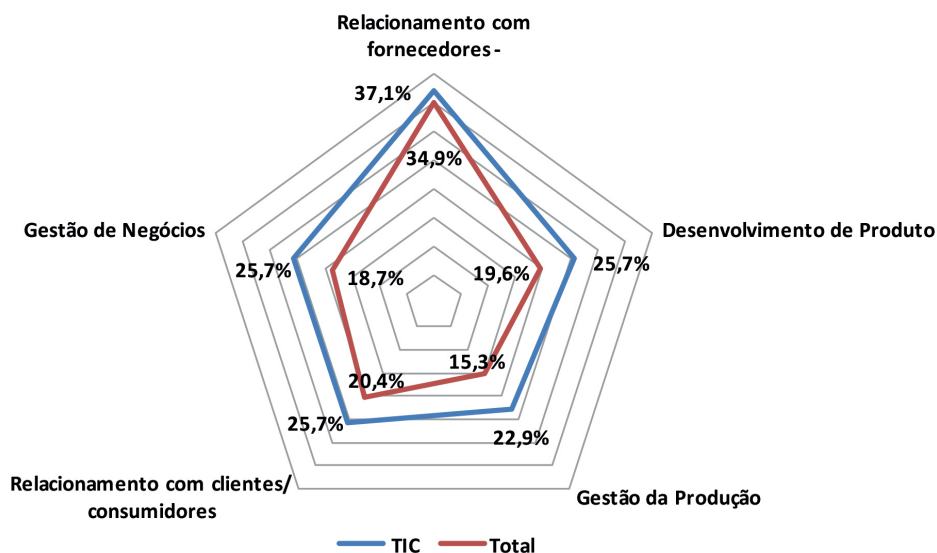
Gráfico A9 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, futuro, em % do número de empresas – SP TIC e total da indústria



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

No caso da expectativa de difusão futura das tecnologias da geração 4, a taxa de adoção entre os respondentes mostrou-se mais intensa nas funções de relacionamento com fornecedores (37,1%), enquanto nas funções de Relacionamento com clientes, de Gestão de negócios e de Desenvolvimento de produto ficava em 25,7%. Já em termos do crescimento, as maiores taxas são observadas nas funções de relacionamento com clientes (de 0,0% para 25,7%). Em termos comparativos (SP TIC *versus* total da indústria), a expectativa de difusão futura no sistema produtivo foi mais intensa para todas as funções organizacionais, 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 TIC e total da indústria



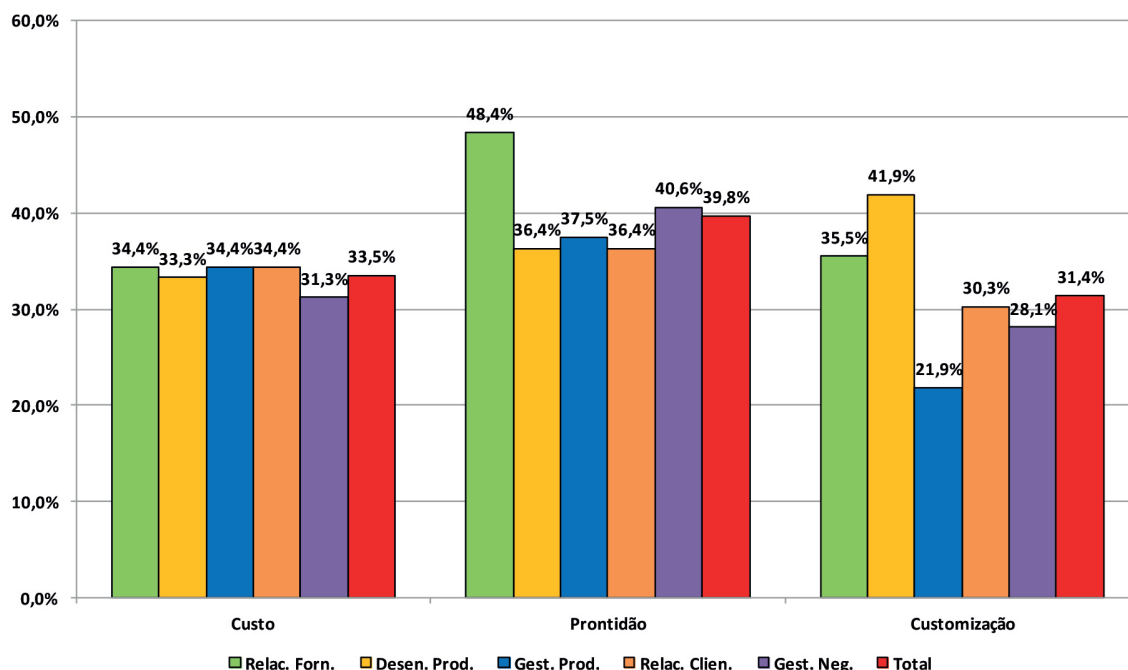
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

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 foram considerados: custo; prontidão e customização. O Gráfico A11 apresenta o percentual de empresas que indicaram a adoção de tecnologias 4.0 terá alto impacto sobre a competitividade, por atributo competitivo (custo, prontidão, customização).

No caso do total geral obtido pela agregação das funções organizacionais, identifica-se que há alguma variação entre os percentuais de empresas que apontaram um alto impacto para os três atributos considerados, com maiores impactos associados ao atributo “prontidão”. Já as informações desagregadas para as diferentes funções organizacionais revelam alguns impactos diferenciados. Na média, os maiores impactos são observados nas funções de relacionamento com clientes e de desenvolvimento de produto, mas enquanto na primeira há ênfase no atributo “prontidão”, na segunda a ênfase recai sobre o atributo “customização”. Nas demais funções, apesar da menor percepção de impacto, a ênfase recai no 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 TIC

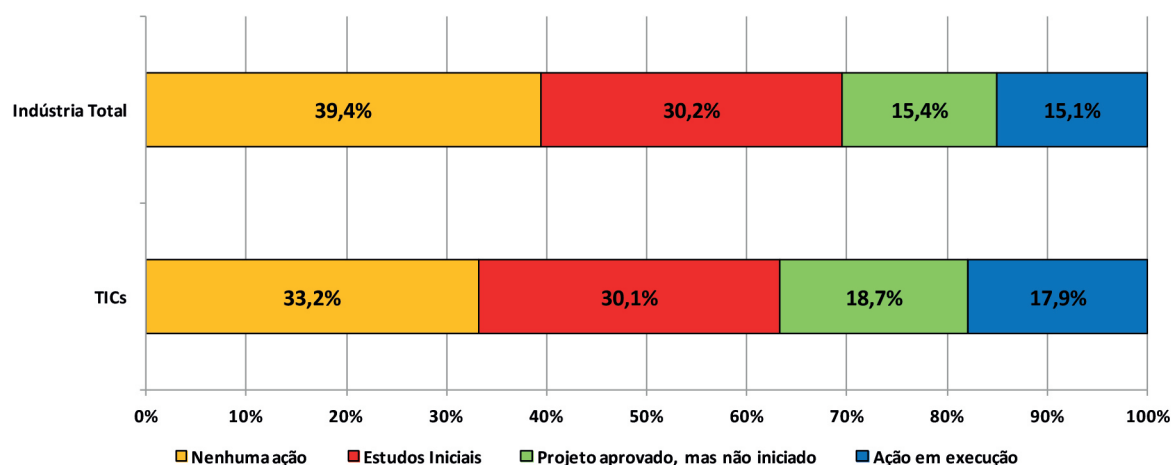


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

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 sugerem que a intensidade dos esforços para incorporação das tecnologias da geração 4.0 nas atividades das empresas é ainda bastante limitada. Para o SP TIC, o percentual de empresas que relatavam esforços que contemplam efetivamente ações em execução foi de 17,9%, valor superior ao observado para o conjunto do painel (15,1%); se consideradas também as empresas com projeto aprovado, mas não iniciado, esse percentual se eleva a 36,6% - proporção também superior à observada para o conjunto do painel (30,5%).

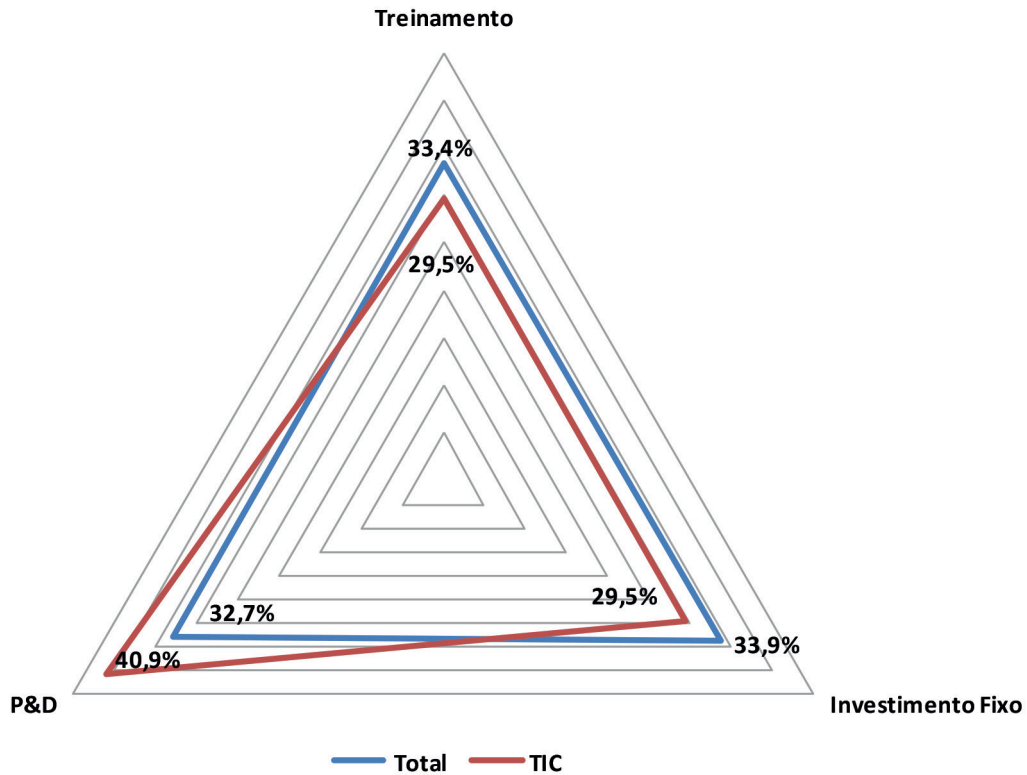
Gráfico A12 – Ações indicadas pelos respondentes para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0, hoje, em % do número de respondentes – SP TIC e total da indústria



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

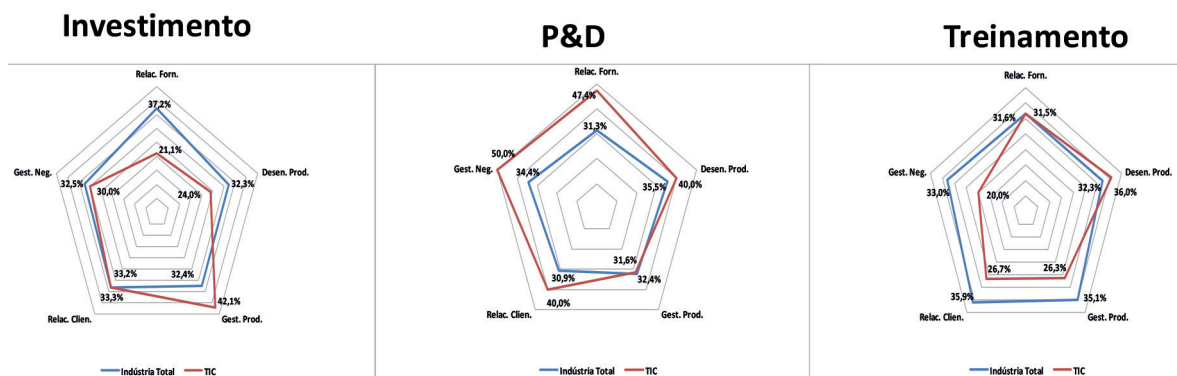
O Gráfico A13 mostra o percentual de empresas que relataram ações em execução no SP TIC para as três dimensões investigadas – investimento, P&D e treinamento. Observa-se uma maior intensidade de esforços em P&D, com 40,9% das empresas relatando esforços que contemplam efetivamente Ações em execução. Comparativamente ao total do painel, também se observa uma maior intensidade de esforços em P&D. Foi mais elevado o percentual de empresas com ações em execução na área de P&D nas funções de gestão de negócios, de relacionamento com fornecedores, de desenvolvimento de produto e de relacionamento com clientes, destacando-se também ações de investimento na função de gestão da produção (Gráfico A14).

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



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

Em linhas gerais as evidências corroboram a constatação de que, não obstante a expectativa de aceleração da difusão de tecnologias 4.0, da elevada probabilidade de as mesmas se tornarem dominantes nos setores de atuação das empresas e do seu

impacto potencial sobre os diferentes atributos da competitividade, o esforço efetivamente realizado pelas empresas visando à incorporação dessas tecnologias é ainda bastante limitado.

A3 Considerações finais

Como constatação geral observa-se, hoje, uma taxa de adoção das tecnologias de quarta geração extremamente reduzida. Contudo, para o horizonte de 2027 espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, o que está fundamentado na percepção do seu caráter disruptivo para a dinâmica competitiva e para a possibilidade de obtenção de ganhos efetivos em atributos determinantes da competitividade.

A análise preliminar ora apresentada enfocando as diferentes funções empresariais será aprofundada na versão final do relatório, bem como será realizado exame de cruzamentos mais detalhados das respostas proporcionadas pelo painel.

IEL/NC

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Gianna Cardoso Sagazio
Superintendente

Suely Lima Pereira
Gerente de Inovação

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

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Área de Administração, Documentação e Informação – ADINF

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

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização Pré e Pós-Textual

Execução Técnica

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

Paulo Bastos Tigre
Emanoel Querette
Alessandro Pinheiro
Sérgio Bampi
Autores

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