

Microeletrônica: qual é a ambição do Brasil?

Ricardo Rivera

Ingrid Teixeira

Carlos Azen

Henrique Miguel

José Ricardo Sales*

Resumo

A importância da eletrônica é cada vez mais percebida no cotidiano de empresas, governos e pessoas. Dos brinquedos infantis a aviões e carros não tripulados, passando pela automação do agronegócio, indústria e serviços, os componentes semicondutores estão no coração da Revolução da Informação, agregando parcelas cada vez maiores das funcionalidades e do custo a esses bens. Tal como diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento, o Brasil definiu as bases de sua estratégia e tornou a posicionar o setor como prioritário desde o início da década de 2000. O artigo realiza uma análise da série de medidas implantadas, com consequente criação de “embriões” privados e públicos de um ecossistema produtivo em construção e propõe algumas recomendações para os agentes públicos e privados envolvidos com o setor. Como uma indústria dependente de incentivos e com longo prazo de maturação, é de suma importância que o governo redobre o compromisso com uma agenda de longo prazo, criando condições para que esses embriões floresçam e para que o Brasil seja um destino competitivo

* Respectivamente, gerente setorial e engenheira do Departamento de Tecnologia da Informação e Comunicação da Área Industrial do BNDES, assessor da presidência do BNDES, coordenador da política de microeletrônica da Secretaria de Informática do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e analista de comércio exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Os autores agradecem a todos os entrevistados a receptividade durante as visitas, discussões e contribuições sobre o tema e aos revisores anônimos do texto.

para novos investimentos. Para tanto, há necessidade de implementar um conjunto amplo e coordenado de medidas, centradas em ações para formação de pessoal, financiamento, incentivo à inovação, desenvolvimento de mercado local, logística, entre outros. O esforço do governo para a gestão dessas iniciativas é fundamental, com identificação de interlocutores de alto nível e priorização efetiva na implementação das medidas já percebidas.

Introdução

Após anos de políticas ativas, em 2014, o governo chinês revisitou seu plano de desenvolvimento do ecossistema de microeletrônica, redobrando suas apostas no sucesso do plano com um fundo de US\$ 20 bilhões. Nos anos 2000, a Rússia e a Índia também identificaram o setor como estratégico, apoiando via fundos governamentais bilionários o desenvolvimento de *start-ups*, *joint ventures* e aquisição de empresas estratégicas.

Não é coincidência que países populosos com pretensões industriais dispensem esforços tão significativos para realizar a *catching up* na micro e nanoeletrônica. Tais países se somam aos entrantes de outras épocas nessa indústria – Japão, Coreia, Cingapura, Malásia etc. Quando se trata de tecnologia, o “bonde da história” passa diversas vezes para os que se posicionam de maneira a aproveitar as rupturas tecnológicas e de modelos de negócios que se abrem de tempos em tempos.

Além dos evidentes impactos na balança comercial, a questão estratégica da produção e domínio tecnológico da microeletrônica abrange diversos pontos, como:

- **Motor de inovação:** a eletrônica é cada vez mais ubíqua em toda a sociedade, que passa a ter sua “inteligência” dominada pela micro/nanoeletrônica, e é peça fundamental na resposta a diversos desafios em áreas críticas como saúde, segurança, energia e logística (*chips* com biossensores para exames clínicos em tempo real, por exemplo).
- **Empregos qualificados:** oportunidade de geração de empregos qualificados em uma indústria altamente intensiva em conhecimento.
- **Consumo crescente:** a explosão de dispositivos conectados à internet impulsionará consumo de componentes como sensores, rastreadores, transmissores, processadores etc. Segundo Cisco (2015), o número

de dispositivos conectados à internet por habitante na Terra deverá saltar de 1,86 (ou dez bilhões) em 2010 para 6,58 (ou cinquenta bilhões) em 2020.

- **Tecnologia estratégica:** a tecnologia é assim tratada por países desenvolvidos, em projetos de defesa, telecomunicações ou energia. Estimulada pelo embargo econômico, a Rússia busca desenvolver para 2015 seu próprio processador para uso em computadores do governo, substituindo os atuais Intel e AMD [Russian News Agency (2014)].
- **Valor agregado:** os circuitos integrados (CIs) respondem por uma parcela cada vez maior de valor do custo de bens e equipamentos em setores como equipamentos médicos, bens de capital, telecomunicações, entre outros. Segundo IC Insights (2011), o conteúdo de semicondutores em equipamentos eletrônicos saltou de 6% em 1974 para 26% em 2010, com previsão de essa participação alcançar no mínimo 30% no longo prazo.

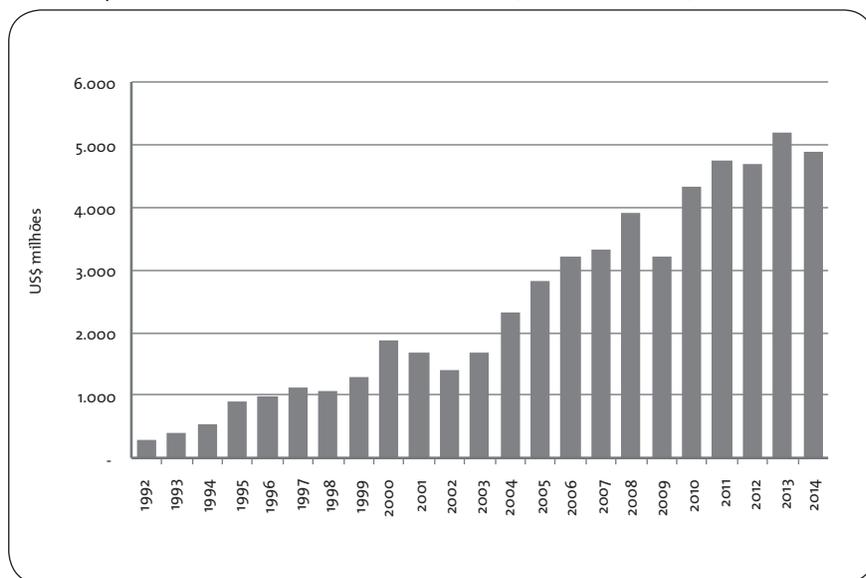
Essa última característica é uma das principais causas da perda da agregação de valor na indústria eletrônica brasileira. A participação da transformação industrial desse segmento na indústria brasileira caiu de 5,5% em 2003 para 2,5% em 2012, segundo dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Como uma das poucas grandes economias do mundo ainda sem produção local na etapa de difusão em microeletrônica [Gutierrez e Leal (2004)], o Brasil tem registrado déficits comerciais crescentes em semicondutores (Gráfico 1) – subestimado pelo fato de não serem contabilizados os *chips* embarcados em produtos, partes e peças importados. A tendência para os próximos anos é de agravamento de déficit comercial à medida que se proliferam os dispositivos eletrônicos em novos mercados, como o da Internet das Coisas (IoT – Internet of Things). O esvaziamento da cadeia eletrônica tende ainda a se estender a outros setores em que o país tem participação relevante na indústria mundial, como de bens de capital, automotivo, equipamentos médicos etc.

Tal diagnóstico foi vislumbrado há mais de uma década, quando o então Ministério da Ciência e Tecnologia lançou em 2002 o Plano Nacional de Microeletrônica (PNM) [Programa (2002)], e o BNDES contratou o estudo da consultoria AT Kearney¹ para mapear as alternativas para uma nova entrada do país no setor, após descontinuados os incentivos do período

¹ Os resultados desse estudo foram sinteticamente apresentados pelo BNDES em Gutierrez e Leal (2004).

pré-abertura comercial da década de 1990. Os resultados desses estudos apontaram para a importância do ecossistema integral da microeletrônica, com vistas ao fortalecimento do Complexo Eletrônico local e/ou a redução do impacto na balança comercial. Para tanto, seria necessário corrigir lacunas estruturais e oferecer um pacote de incentivo à altura de práticas internacionais para atração de investimentos, com incentivos tributários, financeiros, regulatórios, de infraestrutura, apoio à inovação, formação de recursos humanos, desenvolvimento de mercado, entre outros.

Gráfico 1 | Déficit comercial em semicondutores (em US\$ milhões)



Fonte: Elaboração própria, com base em PIA-IBGE.

Desde então, três políticas industriais puseram o setor entre os focos prioritários do país – Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (Pitce), de 2003; Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), de 2008; e Plano Brasil Maior (PBM), de 2011 –, tendo como opção estratégica o desenvolvimento do ecossistema baseado em inovações a partir de tecnologias maduras de microeletrônica que não concorressem frontalmente com os grandes *players* e fossem sinérgicas com o tecido da indústria eletrônica local. Como resultado, diferentes “embriões” desse ecossistema foram constituídos, para os quais a presente publicação busca lançar um olhar perspectivo com base nas oportunidades de mercado apresentadas.

Entre outras oportunidades, talvez a mais marcante resida no fato de que o desenvolvimento da indústria está deixando de ser tão fortemente pautado pela Lei de Moore² ou, em outras palavras, pela busca da miniaturização com ganhos em *performance* e redução de custo dos *chips*, via aumento de escala de produção de circuitos. São exemplos de espaços disponíveis para novos entrantes e para os “embriões” brasileiros: a agregação de diversas funcionalidades em um único *chip*, em um único circuito integrado; a diversidade de aplicações eletrônicas demandadas pela Internet das Coisas; a adição de outras camadas de conhecimento, como microfluídica, fotônica, eletrônica orgânica, entre outras.

O artigo em tela propõe-se a fazer uma avaliação técnica e crítica dos avanços, barreiras e desafios da política industrial brasileira para semicondutores. Tendo como autores integrantes do BNDES, do MCTI e do MDIC, que trabalharam com outros representantes e instituições na formulação e execução da política de desenvolvimento de semicondutores no país, o texto pretende ser um insumo não exaustivo para o aperfeiçoamento de tal política pela nova gestão do Poder Executivo.

Para tanto, além da revisão bibliográfica e estudos de consultorias especializadas, os autores basearam suas conclusões em entrevistas com representantes locais do setor de semicondutores (fabricantes e projetistas), compradores, universidades e centro de pesquisa, bem como especialistas e consultores brasileiros e estrangeiros.

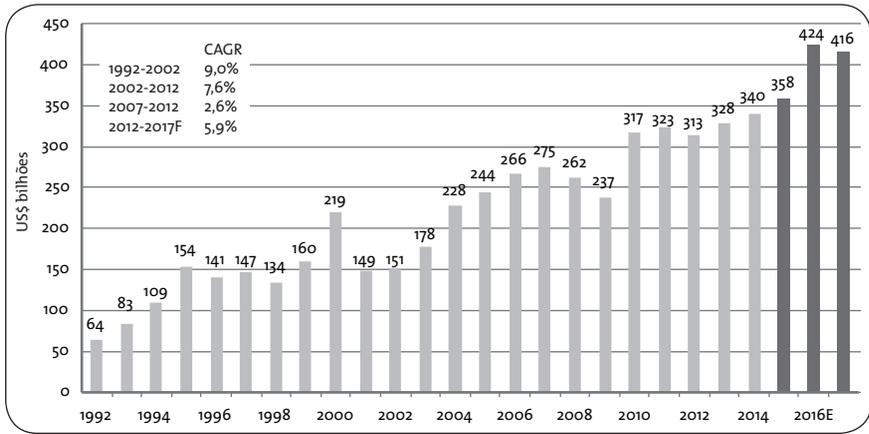
Cadeia de semicondutores³

Mercado

O mercado global de semicondutores é estimado em US\$ 350 bilhões (Gráfico 2), ou cerca de 25% da indústria eletrônica [IC Insights (2014)]. Historicamente, as taxas de crescimento da indústria têm sido superiores ao crescimento global, demonstrando relevância cada vez maior do segmento na economia.

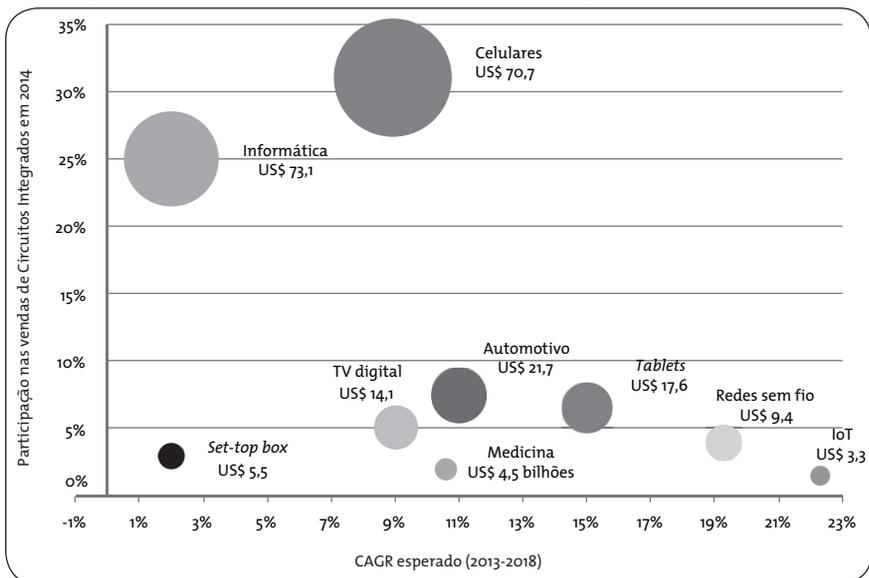
² Ao observar a evolução da integração de transistores, Gordon Moore definiu em 1965 uma lei que se tornou uma profecia autorrealizável, afirmando que o número de transistores por área dobraria a cada 24 meses, ditando o ritmo do processo de miniaturização até os dias de hoje (2014). Os nós tecnológicos evoluíram da escala de micras em (década de 1990) para micrômetros (1980), e o atual paradigma tecnológico produtivo é de 10 nm, ou 0,01% de um fio de cabelo (para comparação, um vírus mede 100 nm).

³ Apesar das diferenças, os termos semicondutores (referenciando a característica de um material), micro(nano)eletrônica (dimensão dos dispositivos eletrônicos) e circuitos integrados (CIs, um tipo de dispositivo semiconductor) são comumente tratados como sinônimos e assim o serão neste texto.

Gráfico 2 | Mercado global de semicondutores

Fonte: IC Insights e Stamford (2015).

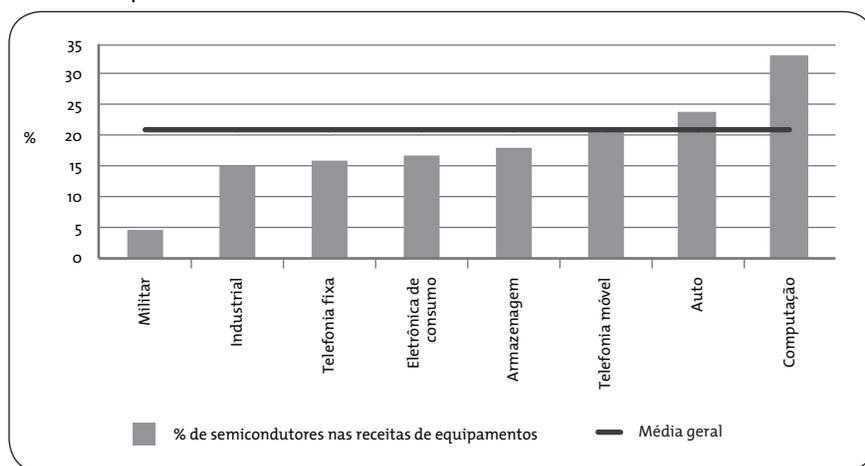
As previsões da IC Insights para 2018 (Gráfico 3) apresentam, como destaques, a maturidade do segmento de informática (PCs e servidores), o ainda crescente mercado de mobilidade (*tablets* e celulares), o expressivo crescimento do segmento automotivo e a nascente e promissora área de IoT.

Gráfico 3 | Mercado de semicondutores por segmentos (em US\$ bilhões)

Fonte: IC Insights (2013).

A relevância da microeletrônica de acordo com cada segmento varia desde 4% dos equipamentos eletrônicos em uso militar até mais de 30% em computação, em que CIs como microprocessadores, memória e outros são parte fundamental da *performance* e do custo final do equipamento (Gráfico 4).

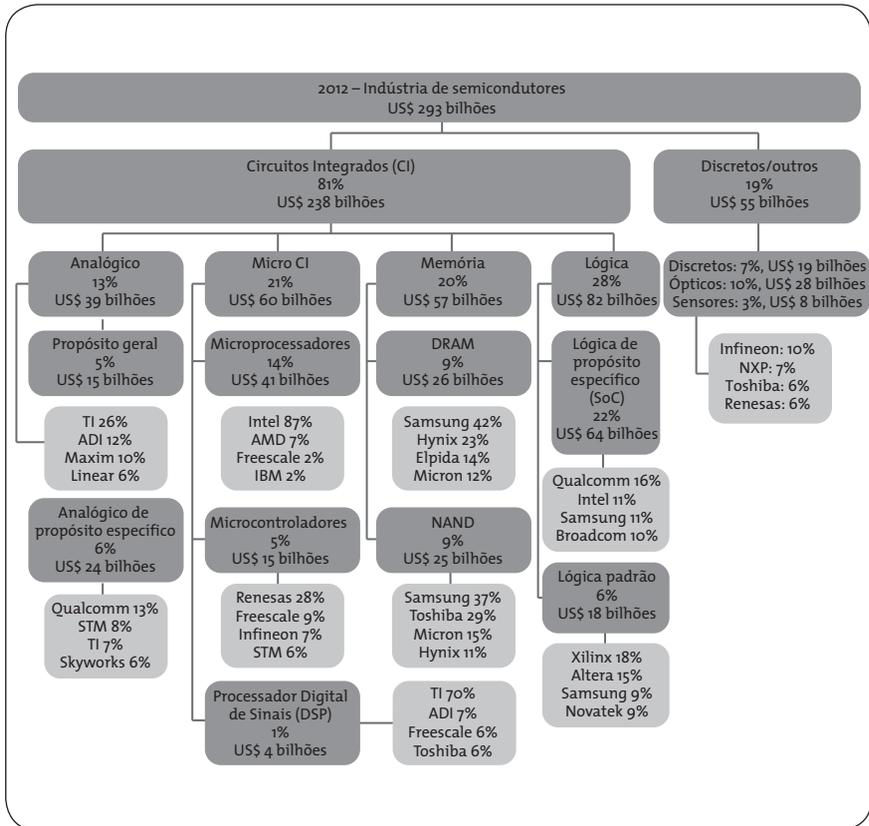
Gráfico 4 | Participação dos semicondutores nas receitas de equipamentos eletrônicos por mercado final



Fontes: Garter e BofA Merrill Lynch.

Os CIs são o principal segmento dos componentes semicondutores – incluindo circuitos analógicos, microprocessadores, memórias e dispositivos lógicos – e representam mais de 81% das receitas (Figura 1). Esse grupo é liderado por poucas grandes empresas, como Intel, Samsung e Qualcomm. Para maior entendimento dos aspectos tecnológicos de semicondutores, sugere-se a leitura de Gutierrez e Mendes (2009).

Excluindo-se os segmentos em que há intensa concorrência com grandes *players* – como microcircuitos integrados – microprocessadores, microcontroladores e Digital Signal Processor (DSP) –, memórias e Field Programmable Gate Array (FPGA), que correspondem a cerca de 47% do mercado total –, há um universo considerável de componentes menos sofisticados ou mais customizados do ponto de vista de aplicação, que correspondem a um mercado superior a US\$ 180 bilhões. São os dispositivos de sinais analógicos de aplicação específica, os componentes discretos, os optoeletrônicos e os sensores, destacando-se *players* como Texas Instruments, Analog Devices, ON Semiconductor, Infineon, STMicroelectronics e Bosch.

Figura 1 | Distribuição de receitas por tipo de componente da indústria global

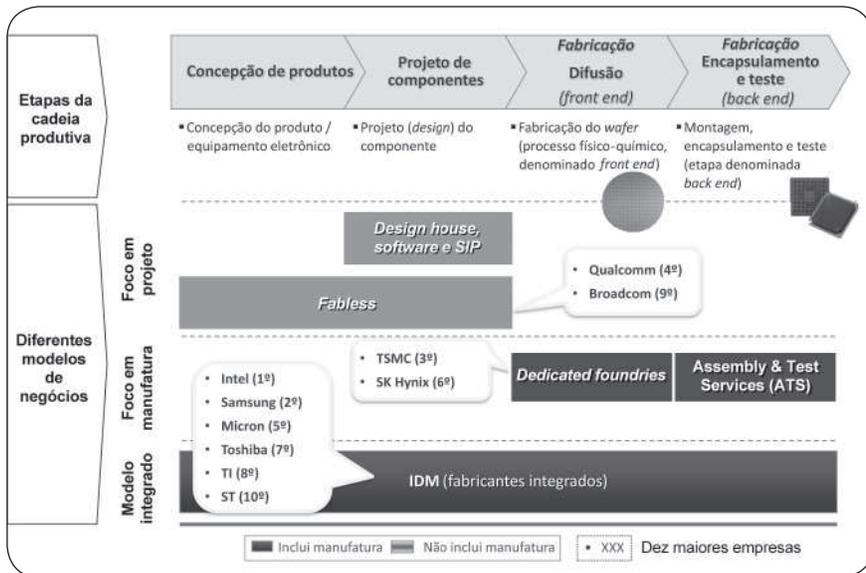
Fonte: BofA Merrill Lynch (2013).

Os componentes analógicos e discretos são parte importante de uma série de “micromercados” promissores, como classificado pela McKinsey (2013). Na área médica, por exemplo, há oportunidades em explorar o uso de semicondutores em equipamentos de medição, tecnologias de engenharia genética, imagem, monitoramento, equipamentos portáteis, equipamentos cirúrgicos etc. Nos automóveis, emprega-se uma média de US\$ 350 em componentes semicondutores por carro, e os componentes analógicos, sensores e discretos representam 70% desse valor.

Modelos de negócios

A Figura 2 apresenta o ciclo de desenvolvimento e produção de um semicondutor, desde seu projeto até o encapsulamento e teste.

Figura 2 | Ciclo de produto de um circuito integrado



Fonte: Elaboração própria, com base em Consórcio AT Kearney.

Quando as primeiras empresas que desenvolviam microeletrônica na década de 1960 surgiram nos Estados Unidos da América (EUA) para atender à demanda de aplicações militares e aeroespaciais, todas as etapas eram realizadas em um modelo vertical denominado Integrated Device Manufacturer (IDM). Até então, os CIs desenvolvidos e fabricados eram geralmente consumidos pela própria empresa. Após a década de 1970, produtos eletrônicos, equipamentos industriais e os primeiros computadores de grande porte também começaram a exigir circuitos integrados [Brown e Linden (2009)]. A década seguinte seria marcada pelo início da era dos computadores pessoais, levando a indústria a crescer em média 16% por ano.

Os crescentes investimentos para fabricação e custos de projeto implicaram diversificação geográfica em busca de menores custos de mão de obra e, principalmente, incentivos de governos interessados em estimular o desenvolvimento local da indústria. A fragmentação dessa cadeia foi iniciada pela migração da etapa de **encapsulamento e testes** [Assembly & Test Services (ATS)] e, posteriormente, de *design* (formação de **centros cativos**) dos *chips* para a Ásia⁴ em modelo verticalizado.

⁴ Em 2006, 43,5% da etapa de encapsulamento e testes estava terceirizada.

O aprofundamento desse processo ocorreu com o surgimento de empresas especializadas nas etapas de produção e *design* nos modelos conhecidos como *founndry* e *fabless*. As *founndries* são a etapa de maior valor agregado da cadeia de semicondutores, pois geram mais empregos, apresentam maior volume de faturamento, oferecem maiores margens operacionais e, via de regra, atraem as demais etapas de produção.

As empresas de projetos, quando proprietárias do CI e controladoras do ciclo de desenvolvimento e comercialização, passaram a ser denominadas *fabless*; as que se posicionaram prestando serviços de *design* em um elo anterior na cadeia passaram a ser denominadas *design houses* (**DHs**). Para expandir a carteira nesse novo cenário, as *founndries* (fábricas) passaram a comercializar blocos de propriedade intelectual (IPs, ou partes de *chips*) para que os clientes reaproveitassem em seus projetos, dando início ao modelo Semiconductor Intellectual Property (SIP). A participação das vendas de CIs por *fabless* saltou de 7% em 1999 para 23% em 2010 [IC Insights (2011)].

Na década de 1990, a demanda por equipamentos eletrônicos passou das grandes empresas para consumidores de menor porte e mais sensíveis a preços – computadores pessoais, *videogames* etc. –, comprimindo as margens do setor. No fim dessa década, constatou-se que os ganhos de produtividade na área de fabricação não foram acompanhados pela área de projetos de CI. Para aumentar a produtividade e reduzir custos de mão de obra, o setor respondeu com o uso intensivo de ferramentas de *software* para auxílio ao projeto – Eletronic Design Automation (EDA) –, o emprego em grande escala de reuso de blocos em múltiplos projetos e o aumento de equipes de projetos em países como exemplo a Índia, Brasil (Freescale) e China, que passaram a receber **centros cativos** de desenvolvimento de CIs [Brown e Linden (2009)].

Em face de ciclos de desenvolvimento de projetos cada vez menores, as empresas fornecedoras das ferramentas de projeto Electronic Design Automation (**EDA**) desde a década de 1970 passaram a ter protagonismo com o fornecimento dos blocos de projeto de *hardware* e o modelo de sistemas para testes que podem ser reusados, tornando-se os principais vendedores de Propriedade Intelectual (IP) no mercado – entre os quais, Cadence, Mentor e Synopsys. Por outro lado, empresas fornecedoras de IP, como a ARM, também passaram a vender sofisticadas ferramentas de testes.

Nos anos 2000, a demanda crescente pela miniaturização para atender aos requisitos de mercado impulsionou os fabricantes – em especial a Intel –

a investirem intensamente em aumento da capacidade.⁵ Um conjunto de fabricantes tradicionais de alta escala – como Renesas, Freescale e NXP – não conseguiu acompanhar o ritmo dos investimentos e passou a adotar um modelo *fablite* – operando como *fabless* para CIs de menor geometria.⁶ Poucos ainda operam com IDMs, aqueles que têm capacidade de produção.

As *foundries* e IDMs que conseguiram seguir o ritmo de investimentos em tecnologia de ponta (*leading edge*) – como Intel, TSMC, Samsung – seguem construindo *megafoundries*, com investimentos que podem superar US\$ 10 bilhões. Atuam fundamentalmente nos mercados de processadores e memórias (larga escala) e estão localizadas principalmente em países com ecossistema consolidado – ex.: Taiwan, EUA e Coreia do Sul. As *foundries* e IDMs de médio porte que não conseguiram acompanhar o ritmo de investimentos focaram em nichos de mercado – ex.: componentes automotivos, sensores, transeptores de radiofrequência e sistemas microeletromecânicos (MEMs) –, adensando camadas tecnológicas a seus processos. Há ainda *foundries* de pequeno porte, focadas na prototipação de produtos inovadores, tipicamente construídas em centros de pesquisa para o desenvolvimento de produtos e processos inovadores [Programa (2002)].

A esse conjunto de modelos de negócios presentes na cadeia, junta-se uma miríade de **fornecedores** de insumos químicos e de equipamentos, que tende a seguir o mesmo movimento de consolidação (fusões e aquisições) crescente na indústria.

Políticas públicas para semicondutores

A importância histórica do papel dos governos

É possível dizer que todos os países que desenvolveram o setor o fizeram com apoio significativo do governo, desde as primeiras encomendas para aplicações nas áreas de defesa e aeroespacial na década de 1960 pelo governo nos EUA.

⁵ Como exemplo, o custo de desenvolvimento do processo produtivo da geração 45 nm saltou de US\$ 1,5 bilhão para US\$ 2,4 bilhões por empresa [Goldman Sachs *apud* Brown e Linden (2009)].

⁶ Geometria (ou nó tecnológico) é definida pela organização International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) em função do tamanho de construção de um transistor (que é o menor componente eletrônico que compõe os circuitos eletrônicos como memórias e processadores). Quanto menor a geometria, menor é o componente construído e maior é desempenho por área de silício.

Com políticas agressivas de desenvolvimento da cadeia desde a década de 1960, que incluíam obrigação de transferência de tecnologia para explorar o crescente mercado local, proteção tarifária, subsídios à implantação de novas fábricas e investimento em tecnologia e apoio a grandes grupos verticalizados, após iniciar atividades de *back-end*, o **Japão** passou a dominar a etapa de difusão [Brown e Linden (2009)]. A participação na produção mundial de memórias do Japão subiu de 24% para 65% ao longo da década. Foi também significativo o crescimento das indústrias japonesas fornecedoras de equipamentos e insumos para a indústria.

Os passos japoneses foram seguidos pela **Coreia do Sul**, mesmo com mercado interno menor, com a entrada dos grandes grupos (Samsung e Hyundai, por exemplo) no ramo de semicondutores, também focada em memórias, em meados da década de 1970. A persistência do governo foi decisiva para o desenvolvimento do ecossistema, uma vez que, até 1987, a indústria tinha investido mais de cinco vezes o faturamento acumulado [Morris (1990)].

Com a fragmentação da cadeia produtiva nos modelos *fabless e foundry*, outros países da Ásia entraram no setor. O governo de Taiwan observou a necessidade mundial por trinta novas fábricas de semicondutores que seriam construídas até 2010. Por meio de suporte do governo via sistema financeiro, a TSMC, hoje maior *foundry* independente do mundo,⁷ foi criada em 1985, em investimento do governo de **Taiwan** com a Philips [Brown e Linden (2009); Mazurek (2003)].

Assim como Taiwan, o governo de **Cingapura** – originalmente realizando o *back-end* para firmas japonesas e americanas – apoiou, juntamente com empresas taiwanesas, a construção da Chartered, adquirida posteriormente pela GlobalFoundries, em 1987, sendo até 2010 a terceira maior *foundry* mundial. A estratégia de entrada tardia desses países foi feita com programas de investimento agressivos de capital para aquisição e difusão de tecnologia [Wessner (2003)].

Como maior consumidor de CIs, com mais da metade da demanda mundial (US\$ 161 bilhões em 2014) e etapas de *design* e encapsulamento relativamente bem desenvolvidas, a **China** vem tentando, desde 1995, desenvolver suas capacidades em difusão. Foram lançados diversos projetos

⁷ Em 2014, faturou cerca de US\$ 20 bilhões. Fonte: <<http://www.tsmc.com/english/aboutTSMC/index.htm>>.

nacionais com metas para fabricação para *wafers* de seis, oito e 12 polegadas. O presidente da XMC, uma das maiores empresas chinesas, entende que a ausência de vantagens específicas (o custo de mão de obra representa cerca de 10% dos custos de uma fábrica) e o processo decisório do governo (lento e avesso ao risco) são os principais fatores de fracasso chinês até o momento – apenas 9% dos CIs foram fornecidos por empresas de origem chinesa.

A lista de países novos entrantes e dos já atuantes que redobram a aposta no setor é longa. Em 2009, o governo de Abu Dhabi (**Emirados Árabes Unidos**) fundou a Global Foundries, parceria com a fabricante americana de processadores AMD, usando recursos do fundo público Mubadala Development Company PJSC.⁸ Apoiando a mesma iniciativa, o governo de **Nova York** ofereceu US\$ 1,5 bilhão em *grants* e incentivos fiscais para o estabelecimento da fábrica local.

Por meio do fundo público Rusnano constituído em 2007 com capital inicial de US\$ 5 bilhões⁹ dedicado à nanotecnologia, a **Rússia** apoiou com US\$ 300 milhões a formação da Crocus Nano Electronics LLC., em 2011, oriunda da *start-up* americana com tecnologia para memórias e sensores, a Crocus Technology S.A. Em 2013, a **Europa** lançou programa estratégico EU 10/100/20, com a meta de produzir 20% do mercado global de semicondutores até 2020, planejando € 10 bilhões de financiamento público/privado e outros € 100 bilhões da indústria.

A **Índia** anunciou, em 2014, investimento de US\$ 10 bilhões para duas novas fábricas de semicondutores em parceria com IBM, TowerJazz e STMicroelectronics, apoiadas pelo governo com financiamentos sem juros¹⁰ para aquisição de equipamentos e redução de impostos. O governo de **Israel** aprovou, também em 2014, doações de US\$ 300 milhões para nova fábrica da Intel cujo investimento total será de US\$ 6 bilhões.¹¹

Com esse pano de fundo, as próximas seções deste capítulo analisam o histórico do Brasil e suas políticas de fomento.

⁸ O Sheikh Mohamed Bin Zayed Al Nahyan (príncipe de Abu Dhabi e comandante das Forças Armadas) é o Chairman do Board de Diretores do Mubadala cujo portfólio de investimentos está avaliado em US\$ 60,8 bilhões. Disponível em: <mubadala.com >. Acesso em: 2 fev. 2015.

⁹ Rusnano Capital foi estabelecido em 2010. Fonte: <ncapital.ch/index.php/about-us.html>.

¹⁰ Fonte: <<http://www.reuters.com/article/2014/02/14/india-semiconductor-idUSL3N0LJ3GO20140214>>.

¹¹ Governo de Israel, disponível em: <mfa.gov.il/MFA/InnovativeIsrael/DoingBusiness/Pages/Intel-to-upgrade-its-Kiryat-Gat-plant-22-sep-2014.aspx>, acessado em 3 fev. 2015.

Histórico do setor no Brasil

A primeira fábrica de microeletrônica no Brasil data de 1975, uma unidade de montagem e testes de circuitos integrados da Philco. No entanto, somente nos anos 1980 o setor ganhou força, com técnicos do então Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Telebras (CPqD), cuja sigla foi mantida, enviados para os EUA para treinamento e desenvolvimento dos primeiros circuitos integrados projetados pelo Brasil – como processadores para telex, repetidores Pulse Code Modulation (PCM) e de comutação. Na mesma época, a Secretaria Especial de Informática (SEI) selecionou três empresas brasileiras que iniciariam suas atividades em *back-end* e deveriam adensar progressivamente a cadeia para desenvolver a etapa de difusão: Elebra, Itautec e SID [BNDES (1995)]. A essas, juntavam-se multinacionais¹² mais concentradas nas etapas de encapsulamento, totalizando mais de vinte empresas atuantes no setor. O Brasil chegou a exportar autorrádios com *chips* projetados e fabricados no país [Programa (2002)].

A partir do início da década de 1990, com a abertura comercial abrupta, a incipiente indústria de semicondutores perdeu competitividade por razões relacionadas a fatores como defasagem tecnológica, reorganização produtiva mundial, questões políticas, econômicas e financeiras, e também gerenciais. Iniciou-se um processo rápido de esvaziamento desse elo crítico da cadeia produtiva. O fechamento, em meados dos anos 1990, da única fábrica de difusão no país, a SID, poderia ser considerado o término simbólico desse período. Outrossim, a Lei de Informática (Lei 8.248/91) concentrou os estímulos econômicos na etapa final de montagem, estipulando processos produtivos básicos (PPB) que, de forma geral, restringiam-se à montagem de componentes e *kits* importados, com toda microeletrônica já embarcada no exterior [Gutierrez e Leal (2004)].

Como reflexo, a produção local de semicondutores recuou de US\$ 200 milhões em 1989 para US\$ 54 milhões em 2008 [Abinee *apud* Programa (2002)], a cadeia de suprimentos local encolheu, houve fuga de técnicos e o *gap* tecnológico do país para o restante do mundo ampliou-se consideravelmente. A perda da cadeia de microeletrônica é um dos principais fatores que explicam a ampliação no déficit da cadeia produtiva de eletrônicos de US\$ 0,9 bilhão em 1992 para US\$ 22 bilhões em 2014 – cumprindo ressaltar

¹² Entre as quais, Texas Instruments, IBM, NEC e Fairchild.

que esse déficit é subestimado, uma vez que diversos bens, equipamentos e partes e peças são importados com CIs embarcados. O Gráfico 5 apresenta a evolução do faturamento e da balança comercial da indústria eletrônica (em dólares), bem como: (i) indicadores que demonstram como essa indústria se tornou uma importante montadora, com decrescente penetração de produtos acabados (concentrando a importação em partes, peças e componentes); (ii) peso crescente da microeletrônica nas importações totais do setor e; (iii) queda vertiginosa da competitividade internacional (relação exportação-importação).

Gráfico 5a | Balança comercial da cadeia eletrônica

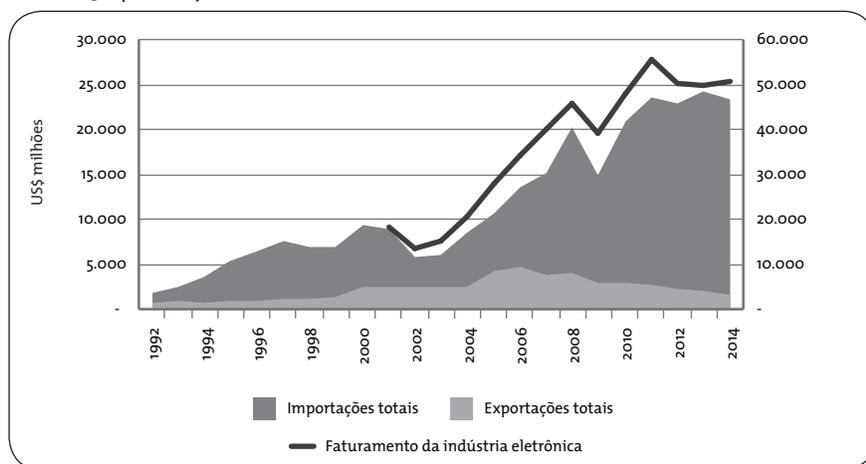
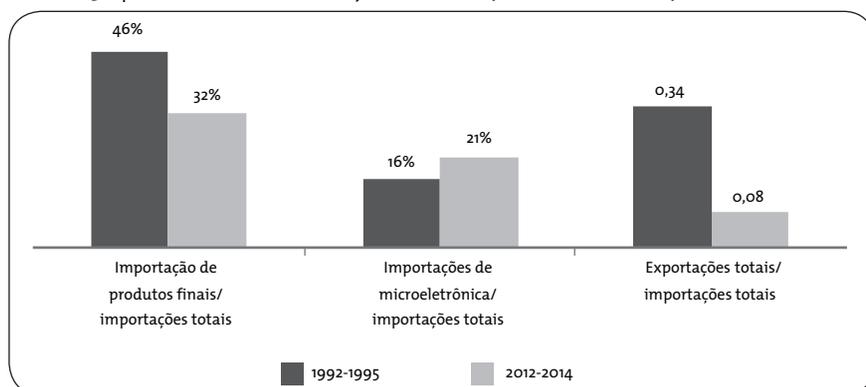


Gráfico 5b | Indicadores da balança comercial (média do triênio)



Fonte: Elaboração própria, com base em Abinee e Secex.

O Plano Nacional de Microeletrônica e o estudo BNDES¹³

Com os objetivos de explorar as janelas de oportunidade abertas com a crescente fragmentação da indústria, promover o desenvolvimento de capital humano, o processo de inovação tecnológica e o (re)adensamento da cadeia produtiva brasileira e ampliar o atendimento ao mercado interno e promover exportações, em 2002 o então MCT formulou o Plano Nacional de Microeletrônica (PNM) com três subprogramas, cujos objetivos são apresentados no Quadro 1 [Programa (2002)].

Quadro 1 | Objetivos estratégicos do Plano Nacional de Microeletrônica (2002)

Subprograma	Objetivos estratégicos
Projetos de CIs	<ul style="list-style-type: none"> • Atração de atividade de projeto de CIs para o país • Formação de empresas locais de projetos de CIs • Capacitação de recursos humanos • Estímulo à engenharia de produto de bens eletrônicos • Criação de centros tecnológicos de inovação em CIs
Fabricação (<i>front-end</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de <i>foundry</i> de prototipagem – Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada (Ceitec) – para capacitação industrial e tecnológica na área de microfabricação • Atração de uma <i>foundry</i> de média ou larga escala
Encapsulamento e teste (<i>back-end</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Estímulo ao uso de componentes montados no país • Acompanhamento do progresso tecnológico no segmento • Preparação para a implantação de um processo de fabricação completo a partir da atração de novas fábricas de <i>back-end</i>

Fonte: PNM (2002).

Em paralelo, e de maneira complementar e orquestrada, o Fórum de Competitividade do Complexo Eletrônico¹⁴ indicou a necessidade de um estudo para atração de fabricantes de CIs, que viria a ser licitado e coordenado pelo BNDES e o MDIC e executado pelas consultorias internacionais AT Kearney e IDC e o escritório Azevedo Sette.

Partiu-se do diagnóstico de que o elo da fabricação: (i) estava presente em todos os países que tinham um complexo eletrônico desenvolvido; (ii) era vetor de atração dos demais elos do ecossistema; e (iii) responsável

¹³ Apoio à atração de investimentos para a produção de circuitos integrados no Brasil.

¹⁴ Iniciativa capitaneada pelo MDIC, com participação de entes do governo, indústria e classe trabalhadora.

pela maior parcela de faturamento, empregos, margens operacionais e agregação de valor na cadeia de semicondutores. O estudo do BNDES *Apoio à atração de investimentos para a produção de circuitos integrados no Brasil* analisou diferentes alternativas de atração de investimentos fabris, agrupando nove,¹⁵ que foram organizadas em duas macroalternativas estratégicas [Gutierrez e Leal (2004)]:

- 1) **Megafábricas** de IDMs de microprocessadores ou *foundries* líderes especializadas independentes com plantas de alta escala na fronteira tecnológica (ex.: processadores, memórias DRAM), foco em mercados de massa (informática, telecomunicações), investimentos na casa dos bilhões de dólares e tendo como principal benefício o impacto expressivo na balança comercial dado o elevado nível esperado de exportações.
- 2) **Fábricas de médio porte** (MCU, ASICs/SoC, MEMs, *foundries* especializadas) focadas em nichos, com menores impactos na exportação e na balança comercial. A principal virtude desta alternativa reside no potencial de agregação de valor ao complexo eletrônico local, em segmentos nos quais o Brasil já tem produção (automotivo, equipamentos médicos, entre outros) e nos quais os ganhos com CIs inovadores compensam a escala relativamente reduzida em relação à primeira opção.

Ainda como conclusão do estudo, a priorização do fomento para atrair empresas de uma ou outra alternativa deveria ser feita, tendo em vista que, para criar o ecossistema, seria necessário ter mais de uma fábrica e serem preenchidos os demais elos da cadeia – concepção, projeto de CI, *back-end*.

A estratégia brasileira para microeletrônica

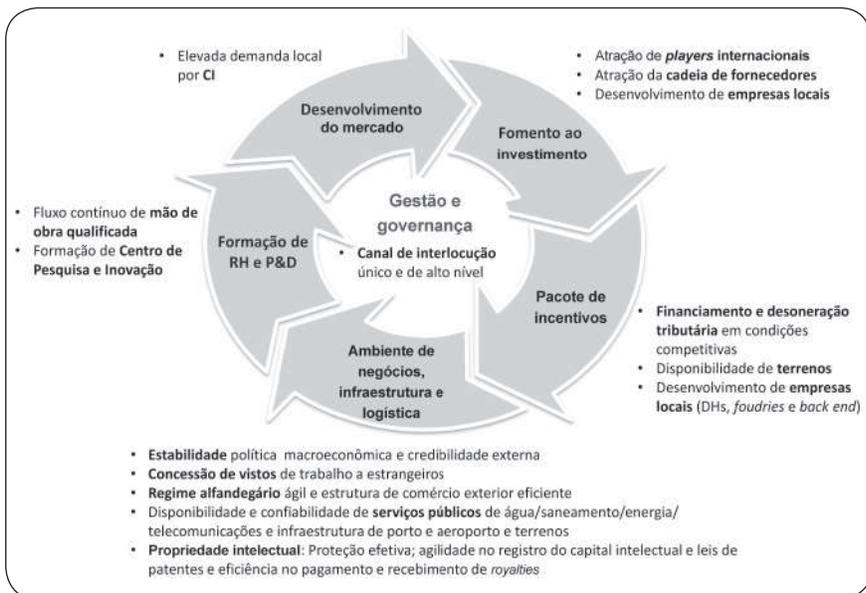
A equipe envolvida no estudo, com a assessoria da consultoria e de especialistas brasileiros do mundo acadêmico e empresarial, indicou como **prioridade estratégica o segmento de componentes com fábricas de médio porte para aplicação específica** (ASICs/SoCs), com maior potencial de irradiação no tecido industrial brasileiro [Salerno e Daher (2006)]. Estava então definido o norte estratégico da política brasileira para a microeletrônica.

¹⁵ (1) Fabricante-líder de memórias DRAM; (2) fabricante do segundo pelotão de memórias DRAM; (3) fabricante de microprocessadores (MPU); (4) fabricante de memórias *flash*; (5) fabricante de microcontroladores (MCU) e circuitos customizados (ASIC e SOC); (6) fundição especializada líder; (7) fundição especializada de médio porte; (8) fabricante de analógicos SLIC; e (9) fabricante de MEMs.

Tanto o estudo quanto o PNM foram elaborados em época de globalização avançada e acordos comerciais internacionais baseados em regras da Organização Mundial do Comércio (OMC). Por um lado, não era mais possível dispor dos instrumentos de política industrial utilizados por outros países; por outro lado, a observação da experiência internacional indicou que estímulos ofertados para a atração das empresas do setor eram bastante assertivos. Como conclusão, ambos abordaram um conjunto de fatores críticos ao investimento, instrumentos e ações que o Brasil deveria seguir, no curto prazo, para atrair investimentos e desenvolver seu ecossistema de microeletrônica. Tais fatores foram estabelecidos respeitando a competitividade dos elos a jusante na cadeia do complexo eletrônico instalada no país e entendendo que o equacionamento do déficit comercial não se daria no curto prazo, mas sim como fruto de uma política de Estado resiliente e, fundamentalmente, bem articulada.

A Figura 3 sintetiza os fatores críticos aos investimentos apontados pelos estudos, indicando o norte das ações a serem desenvolvidas nas políticas industriais que se seguiriam.

Figura 3 | Síntese dos fatores críticos aos investimentos do PNM (2002) e estudo BNDES (2003)

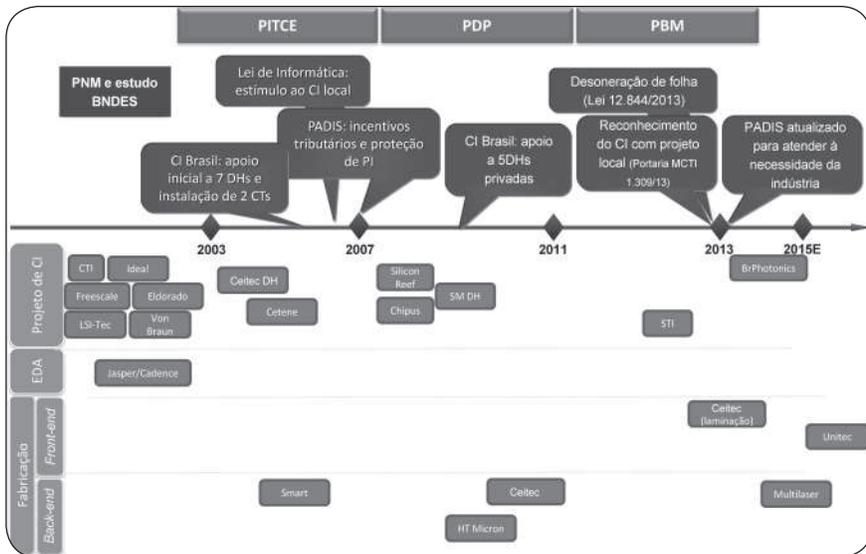


Fonte: Elaboração própria, com base em PNM.

Políticas industriais recentes (Pitce, PDP e PBM)

Compreendendo a importância do setor para a indústria brasileira, o governo federal o alçou à condição de estratégico quando do lançamento da Pitce (2003-2007), ao lado de outros três setores formadores de vantagens comparativas dinâmicas – bens de capital, *software* e fármacos [Salerno e Daher (2006)]. Tal distinção proporcionou avanços relevantes na construção do ambiente para investimentos, tendo, entre as medidas realizadas, o apoio financeiro ao Ceitec e ao programa CI Brasil (suporte inicial a cinco DHs), a formulação do arcabouço legal específico do setor – Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Indústria de Semicondutores (Padis)¹⁶ – e a operação da primeira fábrica de encapsulamento de memória no país, após a abertura econômica da década de 1990 (Figura 4).

Figura 4 | Evolução das políticas e respostas de mercado



Fonte: Elaboração própria.

Após 2007, as políticas industriais subsequentes PDP (2008-2011) e PBM (2012-2014) mantiveram o *status* de prioridade, mas incorporam um conjunto amplo de outros setores industriais, retirando o destaque e a força política que o setor teve durante a Pitce.

¹⁶ Lei 11.484/2007.

As respostas do mercado, ou doravante denominadas “embriões” do ecossistema brasileiro, serão tema da seção “Os ‘embriões’ do ecossistema brasileiro”.

Os “embriões” do ecossistema brasileiro

Segundo Neves (2014), o Brasil realizou opções estratégicas e está em pleno curso de implantação do ecossistema de semicondutores brasileiro, os “embriões” produtivos. Dados da Associação Brasileira da Indústria de Semicondutores (Abisemi), criada em 2014, indicam que o setor de semicondutores já fatura mais de R\$ 1 bilhão por ano e gera mais de 1.500 empregos qualificados no país. Os investimentos em infraestrutura fabril foram aproximadamente de US\$ 1 bilhão e de mais de US\$ 100 milhões em atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Fabricação

Da visão inicial de seus idealizadores, Wolfgang Sauer e o governo de Minas Gerais, ao início da construção da fábrica da hoje **Unitec Brasil** em Ribeirão das Neves (MG) transcorreram quase duas décadas. A longa costura para desenhar a estratégia, buscar investidores e estruturar o projeto culminou em um arranjo que envolveu a BNDESPAR, o EBX (substituído em 2014 pelo grupo argentino Corporación América), a construtora Matec e a IBM, além do financiamento de BNDES, Finep – Inovação e Pesquisa e Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG).

Em linha com os resultados dos estudos, os investidores optaram pelo investimento em uma fábrica de médio porte (cerca de 340 *wafers* por dia), com tecnologia de processos madura (90 nm e 130 nm, *wafers* de 200 mm, *mixed signal*) em aplicações crescentes, como a da IoT, e inovadoras, como em microfluídica, atendendo ao mercado de ciências da vida, como os *lab-on-chip* e exames clínicos. O modelo de negócios da Unitec tende a concorrer com empresas como Analog Devices, NXP, Texas Instruments e ST Microelectronics.

A semente para a criação, em 2008, da empresa **Ceitec** na cidade de Porto Alegre (RS) foi a assinatura de um protocolo de intenções, no ano 2000, entre os governos municipal, estadual e federal, instituições de ensino superior – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Pontifícia

Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS) – com corpo docente previamente capacitado no exterior e empresas privadas, incluindo a Motorola, doadora dos principais equipamentos de difusão na geometria de 600 nm em *wafers* de 100 mm. Em 2005, iniciaram-se algumas atividades de projeto de CIs, no contexto de uma associação civil sem fins lucrativos, ainda realizadas nos parques tecnológicos da UFRGS e da PUC-RS, e a construção de um prédio para abrigar as atividades de pesquisa e manufatura em terreno doado pela prefeitura.

Somente em 2008, criou-se a empresa estatal Ceitec como herdeira natural dessas iniciativas, mas revendo a estratégia inicial de essencialmente centrada na fábrica de prototipagem para incluir um portfólio de produtos de mercado concentrado em soluções de Radio Frequency Identification (RFID) entre 600 nm e 180 nm – entre os quais *chips* para rastreamento bovino, de sangue (Hemobras), veicular (SINIAV), registro civil (passaporte e identidade), além de produtos para CIs ASICs para telecomunicações (*chip* Wimax e modulador da TV Digital) e automação industrial. A empresa conta com cerca de setenta projetistas especializados em tecnologia digital, analógica e mista e adota um modelo *Fab-Lite*, prevendo a produção de alguns dos *chips* por ela projetados e outros fabricados por terceiros. Inicialmente, a empresa está focada nos mercados do Brasil e da América Latina.

A **BrPhotonics** surgiu de uma *joint venture* entre o CPqD e a americana GigOptix – empresa com faturamento de US\$ 29 milhões em 2013, focada no desenvolvimento de componentes fotônicos e circuitos analógicos de alta velocidade. Entendendo ser crítico o domínio da microeletrônica para a competência central do CPqD (comunicação óptica em altas taxas de transmissão) e credenciado por suas pesquisas e conhecimento reconhecido mundialmente na área, a fundação decidiu retomar suas atividades em microeletrônica, montou uma equipe de cerca de quarenta funcionários e iniciou o desenvolvimento de CIs de menor geometria (maior complexidade) no cenário brasileiro – *chips* para processamento de sinais digitais (DSP) em 28 nm e para transporte em redes ópticas – Optical Transport Network (OTN) – em 40 nm, além de *chips* fotônicos (ainda nascentes no mundo inteiro). A empresa desenvolve e comercializa os CIs eletrônicos, fotônicos e híbridos. A BrPhotonics está implantando uma fábrica de *chips* fotônicos com foco em comunicações de altíssimas taxas de transmissão.

Esses embriões desempenham papéis fundamentais no ecossistema, listados no Quadro 2.

Quadro 2 | Potencial de agregação de valor ao ecossistema das fábricas

<ul style="list-style-type: none"> • Protagonismo em novas tecnologias: Com “embriões” atuando na fronteira tecnológica em suas áreas, tanto a Unitec, em microfluídica, quanto a BrPhotonics, em fotônica, podem alcançar protagonismo mundial e se tornarem empresas nacionais exportadoras de produtos de alta tecnologia.
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação para empresas de projeto de CI: com tecnologias de fabricação que permitem o compartilhamento do <i>wafers</i> por vários projetos, a Unitec poderá estimular o desenvolvimento de CIs e prestar serviços de <i>design</i> e fabricação para empresas locais já instaladas no Brasil (Ceitec, HT Micron, Smart Modular e as DHs).
<ul style="list-style-type: none"> • “Cartão de visitas”: unidades fabris são importantes para caracterizar que o país está de fato estrategicamente comprometido com o setor.
<ul style="list-style-type: none"> • Custo do pioneirismo: Ceitec e Unitec estão enfrentando todas as dificuldades de desenvolvimento inicial da cadeia de suprimentos, aperfeiçoamento do arcabouço legal, sensibilização de órgãos fiscalizadores, formação de mão de obra, repatriação de talentos, criação de uma reputação positiva, que gerarão benefícios para os demais investimentos produtivos.
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Know-how</i> e mão de obra: o Ceitec foi um dos primeiros formadores de mão de obra para o ecossistema e de conhecimento sobre os problemas da micro-nanofabricação (manuseio de gases especiais, logística etc.). Uma das DHs privadas mais promissoras, a Chipus, foi fundada por um ex-colaborador do Ceitec.
<ul style="list-style-type: none"> • Mobilização da academia e sociedade: o Ceitec ajudou a pavimentar o caminho para operações da HT Micron com universidades, órgãos de fiscalização, federação das indústrias etc.

Fonte: Elaboração própria.

Encapsulamento

Como segmento mais maduro do ecossistema brasileiro, o elo de *back-end* data da década de 1980, com a planta de encapsulamento de *chips* de memória DRAM da SID Microeletrônica e da Itaucom¹⁷ como últimas remanescentes do período de reserva. A partir de meados de 2000, estimulado pelos PPB, o elo de encapsulamento voltou a ter investimentos e, até o fim de 2014, existiam três operações locais de encapsulamento de CIs de memórias beneficiárias do regime Padis: a Smart, HT Micron e Multilaser.

Com a Pitce, a empresa americana de montagem de módulos de memória **Smart** Modular Technologies, que estabeleceu suas atividades no Brasil no fim de 2002, decidiu iniciar as operações de encapsulamento de circuitos integrados de memória, construindo sua fábrica de encapsulamento e *clean room* em 2005, época em que Itaucom deixou o mercado. A unidade

¹⁷ Além das fábricas de componentes semicondutores de potência da Aegis e da Semikron.

brasileira é a única do grupo a realizar o encapsulamento de componentes semicondutores. Atualmente controlada por Silverlake, um dos maiores fundos de *private equity* de tecnologia do mundo, a empresa conta com cerca de 550 empregados no país e cerca de vinte engenheiros de P&D na Coreia do Sul focados em projetos avançados de memórias. A empresa apresentou um crescimento acelerado na última década, impulsionado pelo considerável aumento da produção local de computadores, *laptops* e servidores (memórias DRAM). Em 2011, entrou no segmento de *tablets*, *smartphones* e celulares, oferecendo ao mercado nacional componentes que reúnem o que há de mais avançado no mundo em tecnologia de circuitos integrados.

O grupo de empresários gaúchos que fundou a montadora de bens eletrônicos Teikon também identificou a oportunidade de investir na etapa de *back-end*, por meio de consórcio com a empresa coreana Hana Micron. Em 2009, nascia a **HT Micron Semicondutores**, situada no *campus* da Unisinos, que completou o arranjo para apoiar a formação de mão de obra, montar a sala limpa temporária até a conclusão da fábrica e receber os recursos de P&D que o novo empreendimento iria gerar. A nova fábrica foi inaugurada pela Presidenta da República em junho de 2014 e já opera com boa capacidade de produção.

Complementando a lista de encapsuladoras de memórias, em um movimento de integração, a fabricante de equipamentos de informática **Multilaser** inaugurou sua unidade de encapsulamento DRAM no fim de 2014, para consumo próprio e abastecimento de mercado.

As operações de encapsulamento de memória trazem os seguintes benefícios ao ecossistema no Brasil listados no Quadro 3.

Quadro 3 | Potencial de agregação de valor ao ecossistema das encapsuladoras

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Fortalecimento de Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) e universidades: em atendimento às exigências do Padis para aplicação de recursos em P&D em semicondutores, a Smart já utilizou serviços de mais de vinte ICTs locais, tendo instalado um centro de testes de memórias no Instituto Eldorado. Ainda em estágio inicial, a Multilaser deverá seguir curso semelhante. A HT Micron utiliza os recursos para reforçar sua relação com a Unisinos, responsável pela formação de RH nas universidades na Coreia do Sul. |
| <ul style="list-style-type: none"> Novo paradigma tecnológico: com as atividades de P&D desenvolvidas pelo centro de pesquisas na Unisinos, pode-se capturar oportunidades em serviços de encapsulamento e testes das próximas gerações tecnológicas, por exemplo, Through Sillicon Via (TSV). |

(Continua)

(Continuação)

<ul style="list-style-type: none"> • Redução do impacto na balança comercial: estima-se que as operações locais de encapsulamento de memórias DRAM (usadas para PCs e <i>notebooks</i>) sejam responsáveis por uma redução média do déficit comercial em até US\$ 100 milhões/ano, ou cerca de 10% do déficit de memórias DRAM* usadas pelo país.
<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de <i>know-how</i> em testes: no mundo, o serviço de encapsulamento é feito por terceiros como um serviço; os testes, elo crítico na área de memória, são feitos <i>in-house</i>. Como o PPB orienta que parte dessa atividade seja feita localmente, as encapsuladoras passam a ser empresas de produto, comprando o <i>wafers</i>, encapsulando e vendendo no mercado local. Para tanto, estão desenvolvendo P&D e conhecimento na área de testes.

Fonte: Elaboração própria.

* Estimativa baseada em 2014 (Alice/MDIC – apenas de memórias DRAM e *wafers*).

Para uma rota mais inovadora e de nicho, o BNDES apoiou o desenvolvimento de tecnologia de encapsulamento em baixa temperatura em cerâmica (*low temperature co-fired ceramic – LTCC*) pelo CSEM Brasil, localizado em Belo Horizonte (MG). Tal encapsulamento tem elevado valor agregado e aplicação em ambientes hostis – alta temperatura, frequência, vibração, impacto etc. – e são biocompatíveis – ex.: inserção de dispositivos em seres humanos.

Projeto de CI

Em 2006, o CI Brasil semeou e forneceu o apoio inicial para as primeiras 22 empresas e institutos que desenvolveram projetos de CI, que foram analisadas em recente estudo coordenado pela Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) [ABDI (2014)]. Destas, dez foram classificadas em estágio muito incipiente e não serão comentadas neste documento.¹⁸

Quadro 4 | Empresas de projeto de CI no Brasil

Modelo	Iniciativas	Natureza	Número de funcionários
Centros cativos	Freescale (SP)	Multinacional	Mais de 150
	STI (SP)		Até 5
	Jasper/Cadence (MG)		51 a 100*

(Continua)

¹⁸ Por outro lado, as iniciativas do CPqD e Jasper foram incluídas na análise, dadas as particularidades comentadas adiante.

(Continuação)

Modelo	Iniciativas	Natureza	Número de funcionários
Fabless	BrPhotonics/CPqD (SP)	Empresa	Até 5
	SiliconReef (PE)		6 a 10
	Ceitec <i>design</i> (RS)	Empresa estatal	31 a 50
	SMDH (RS)	ICT pública	51 a 100
<i>Fabless</i> verticalizada	Eldorado (SP)	ICT privada	51 a 100
	LSI-Tec (SP)		31 a 50
	Von Braun (SP)		21 a 30
	CTI (SP)	ICT pública	21 a 30
	Cetene (PE)		11 a 20
SIP	Chipus (SC)	Empresa	11 a 20
	Idea! (SP)		6 a 10

Fonte: Adaptação BNDES, com base em ABDI (2014).

* Estimativa BNDES.

As 14 iniciativas de projeto de CI no Brasil com nível mínimo de maturidade são apresentadas no Quadro 4, em quatro modelos de negócios principais. É possível notar que nenhuma iniciativa de puro serviço de *design* (DH) conseguiu decolar: das dez iniciativas incipientes, seis eram DHs. As empresas e ICTs que ganharam alguma maturidade evoluíram para outros modelos – embora muitas tenham mantido as atividades de serviços de *design* como forma de manter suas equipes em atividade e complementar o portfólio.

Mais da metade das iniciativas que evoluíram encontra-se em São Paulo (oito em 14), estado que concentra elevado contingente de empresas de base eletrônica, ICTs e universidades.

Centros cativos

Única iniciativa comercial de projetos de CI no país existente previamente ao PNM, a **Freescale** é o maior dos **centros cativos** em operação no Brasil, com mais de cem engenheiros de projetos, sendo referência para soluções no setor automotivo. Compete por serviços de *design* com outras filiais, com custos de mão de obra superiores aos da Índia e inferiores aos dos EUA, mas com baixa rotatividade e reconhecida competência. Entre diversos produtos desenvolvidos localmente, dispõe de microcontroladores

de *powertrain* premiados internacionalmente, embarcados até nos módulos de controle de injeção e tração da Fórmula 1 e supercarros, tais como Koenisseg e Corvette. Recentemente, a corporação reviu sua estratégia para tornar a unidade um centro de lucro, passando a ter a responsabilidade de desenvolver negócios localmente, nos segmentos industrial e de eletrônica de consumo, com foco na IoT.

Outro caso interessante é o da **Jasper**, empresa de EDA recentemente adquirida pela Cadence. Toda a atividade de P&D em ferramentas de testes de verificação é feita em Belo Horizonte, em núcleo montado por professor brasileiro com larga experiência no Vale do Silício, licenciado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Metade das patentes registradas pela empresa nos EUA teve a participação do grupo brasileiro. Além da Jasper e da Freescale, também está no país pequeno centro cativo da **Toshiba** (STI Microelectronics), fruto das negociações do padrão de TV digital brasileiro, com foco inicial em explorar o mercado de RFID em conjunto com o Centro de Pesquisas Avançadas Wernher Von Braun.

Fabless

Quatro organizações têm foco em serem fornecedoras *fabless* no país. Entre as empresas, a equipe de *design* da estatal **Ceitec** está focada em *chips* de identificação por radiofrequência (RFID) e já desenvolveu seis produtos para esse segmento, alcançando, em 2014, a marca de dez milhões de *chips* comercializados.

A **Silicon Reef** é uma *start-up* apoiada pelo fundo de investimentos Criatec, do BNDES, e atua na área de *mixed-signal*. Seu primeiro produto é um *chip* para gerenciamento de energia do tipo *energy-harvesting*, aplicado a equipamentos de consumo, em sua etapa final de testes de engenharia em potenciais clientes.

Completa a lista das *fabless* brasileiras a Santa Maria DH (**SMDH**), ICT vinculada à universidade local. Desenvolveu, em parceria com a empresa Chipus, um *chip* microcontrolador de 8 bits; o produto tem lotes de engenharia, que estão sendo testados pela empresa Exatron, fabricante brasileira de equipamentos na área de automação. A DH projetou ainda, sob encomenda do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), o primeiro CI resistente à radiação, que está operando com êxito no nanossatélite brasileiro desde junho de 2013.

Fabless verticalizadas

No Brasil, há um conjunto de ICTs com capacitação em engenharia de *hardware* e sistemas, captando historicamente recursos significativos de P&D da Lei de Informática para desenvolvimento de bens eletrônicos. Alguns deles formaram uma DH a partir do Programa CI Brasil e posicionam-se também como ofertantes de soluções de referência em um modelo *fabless* verticalizada, avançando na atribuição de desenvolvimento de CI para ofertar uma solução de *hardware*, *software* embarcado e CI para seus clientes finais. Tal modelo, em especial, é interessante, em virtude do quadro de baixa demanda local de CIs pelas empresas eletrônicas, pouco treinadas para encomendar o desenvolvimento de um CI específico.

Nessa categoria, destacam-se: **LSI-Tec** – ICT vinculada à USP-SP –, **Eldorado** – originariamente instituto da Motorola (SP) – e o instituto independente **Wernher von Braun**, em Campinas (SP). Os dois primeiros têm atuação razoavelmente diversificada – automação industrial, equipamentos médicos, TV digital, rastreamento, *smart grids*, entre outras aplicações que possuem fabricante local de equipamentos eletrônicos. Já o von Braun desenvolveu solução própria para rastreamento de frota e aguarda o início do projeto Brasil-ID [ABDI (2014)].

O porte dessas ICTs na área de CI tem proporcionado a formação de parcerias relevantes. Com cerca de sessenta projetistas, o Eldorado está estruturando talvez o maior centro de qualificação, testes e homologação de CIs da América Latina, firmou parceria com a Intel para formação de *designers*, tem desenvolvido projetos com CPqD, Freescale, Perceptia entre outras empresas, além de ter sido o ensaio inicial do programa de formação de pessoal do CI Brasil. O LSI-Tec deverá abrigar o novo centro de formação de projetistas do CI Brasil, ao passo que o Von Braun firmou parceria com a Toshiba.

SIP

Duas *start-ups* evoluíram do estágio de DH para se posicionarem como fornecedoras de blocos de IP. Com menos de dez projetistas, a **Idea!** desenvolveu IPs moduladores e demoduladores para TV digital, e busca atingir maturidade para migrar para modelo *fabless*. Com cerca de 15 projetistas, a **Chipus** tem se destacado, tendo firmado parcerias com *foundries* e clientes internacionais e evoluído consistentemente em porte.

Os diferentes modelos de negócio entregam benefícios comuns e específicos ao ecossistema, conforme se mostra no Quadro 5.

Quadro 5 | Potencial de agregação de valor ao ecossistema das empresas com projeto de CI

<ul style="list-style-type: none"> • Benefícios comuns: formação de mão de obra com elevado salário e especialização setorial.
<ul style="list-style-type: none"> • Centros cativos: potencial gerador de <i>start-ups</i> por funcionários contextualizados no setor, fortalecimento da marca do país no setor ("cartão de visitas") para atração de novos investimentos e (eventual) desenvolvimento de CI com foco no mercado local, fortalecendo indústria a jusante. Impacto desprezível na balança de serviços e registro de PI (transferência entre firmas).
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fabless</i>: fortalecimento do complexo eletrônico, ao desenvolver CIs para indústria a jusante local; subcontratação de serviços para DHs/SIPs; quando <i>fabless</i> verticalizada, ajuda as empresas eletrônicas locais a melhorar seus produtos por meio do desenvolvimento de CIs específicos.
<ul style="list-style-type: none"> • DHs e SIP: porta de entrada para os demais modelos, formando projetistas e relacionamentos na indústria.

Fonte: Elaboração própria.

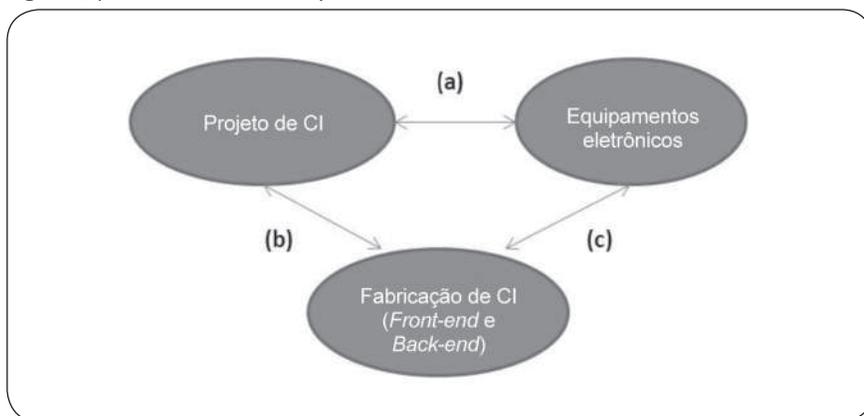
Estratégia e recomendações

A importância do ecossistema de CI e equipamentos eletrônicos

Com base na Lei de Informática, o Brasil logrou êxito em formar um dos maiores e mais diversificados parques fabris de eletrônica no mundo, ainda que concentrado na etapa de montagem final, com faturamento anual superior a US\$ 150 bilhões e com 170 mil empregados. O adensamento produtivo e a agregação de valor local ainda são limitados, uma vez que essa produção limita-se à montagem de *kits* importados, os quais já contêm embarcados os componentes críticos (em especial semicondutores e *displays*), que progressivamente consolidam a maior parte do valor do bem final. No médio prazo, há riscos de aprofundamento da fragilização desse parque, com deterioração da balança comercial e perda de postos de trabalho já conquistados.

Para reverter esse quadro, é mister promover a interação entre essa indústria de equipamentos eletrônicos e as diferentes etapas da cadeia produtiva de CI – projeto e fabricação (incluídas tanto as etapas de *front-end* como *back-end*) –, devendo haver um “sistema simbiótico e indissociável” levando-se em conta os relacionamentos entre esses elos, descritos na Figura 5.

Figura 5 | Ecossistema de componentes e bens finais



Fonte: Elaboração própria.

- a) Projeto de CI/equipamentos eletrônicos: estando próximos de projetistas de CI, os fabricantes de máquinas e equipamentos estão expostos a propostas de como reduzir custos e melhorar a *performance* de seus produtos. Por outro lado, a interação e cooperação entre ambos são fundamentais para que os projetistas desenvolvam IPs e “*reference designs*”, agregando valor a seus portfólios de produtos.
- b) Projeto de CI/fabricação de CI: ainda que muitas empresas tenham decidido terceirizar a etapa de fabricação, alguns fatores favorecem a proximidade entre projeto e fabricação: maior agilidade no relacionamento projetista-fábrica nas etapas de testes e validação do projeto e menor barreira de entrada para novas *design houses*, por exemplo. Para as fábricas, a capacitação em projeto é fundamental para agregar maior valor aos componentes e desenvolver soluções e processos inovadores, criando novos nichos de atuação para estas.
- c) Fabricação de CI/equipamentos eletrônicos: em especial em seus primeiros anos, quando há a necessidade de preenchimento da capacidade produtiva, esse relacionamento local é fundamental. Por outro lado, a presença de um fabricante de CI encurta os ciclos de fornecimento de componentes para os fabricantes de equipamentos, resultando em menor necessidade de capital de giro. Do ponto de vista estrutural, ter no Brasil os dois elos favorece a existência de capacidades sinérgicas em fabricação, sobretudo tendo em vista a migração cada vez maior de etapas da montagem de equipamentos para fabricação dos CIs.

Para além das relações entre os elos, a existência de um ecossistema completo – instituições de ensino, centros de P&D e fornecedores de insumos e equipamentos – promove a criação e a atração de competências em um ciclo virtuoso, facilitando novos investimentos, repatriação de profissionais, formação de recursos humanos etc.

Oportunidades e desafios para o país

Oportunidades

Posta a necessidade de desenvolvimento do ecossistema completo, persiste o desafio de como construí-lo e tornar o país relevante na indústria. Diversas oportunidades se colocaram ao longo da história da indústria, seja quando ela precisou de soluções de baixo custo, seja quando os países investiram fortemente em inovação, compraram ativos estratégicos, aproveitaram seus mercados internos ou oportunidades em mudanças tecnológicas ou de novos mercados, tema desta seção.

Na fronteira da rota tecnológica tradicional baseada na Lei de Moore, especialistas do setor indicam que as aplicações digitais (processadores e memórias) tendem a perseguir o adensamento de transistores por pelo menos até a próxima década, divergindo sobre se o avanço vai se concretizar às custas de aumento de custos e/ou da melhoria da *performance* dos *chips* produzidos [McKinsey (2013)]. Considerados o nível de investimentos requeridos para etapa de difusão e os requisitos mínimos de maturidade do ecossistema, parece não ser plausível perseguir esse objetivo no estágio em que o Brasil se encontra. Todavia, dadas as proporções do mercado interno brasileiro, a atuação na etapa de *back-end* auxilia no fortalecimento do ecossistema. Com a forte expansão no segmento de comunicação móvel, o encapsulamento de outros componentes além dos CIs de memórias (módulos de câmeras, componentes *wireless*, multimídia etc.) começa a se tornar competitivo.

Com a evolução de técnicas de encapsulamento em três dimensões (3D), as empresas ainda têm a oportunidade de ocupar um espaço intermediário entre a difusão e encapsulamento, área de valor agregado significativamente superior ao *back-end* atual. Tecnologias de encapsulamento multicamadas, agregação de vias de comunicação nos *chips* (TSV), além de tecnologias de nicho, como o LTCC ou flexíveis são áreas que podem ser exploradas pelos embriões instalados no Brasil.

Em outro ritmo, as aplicações analógicas não escalam da mesma forma. Além da redução das dimensões dos transistores conseguida com os avanços na área digital, alguns componentes já se encontram em seus limites físicos de construção ou necessitam de novos materiais e processos de integração de sistemas.¹⁹ De acordo com a LFoundry, a maioria das aplicações analógicas são desenvolvidas em nó tecnológico de 130 nm ou superior.

A integração de sistemas diferentes sobre o silício, promovendo a diversificação funcional no mesmo *chip* (System on Chip – SoC) ou diversos *chips* no mesmo encapsulamento (System in a Package – SiP), promoveu uma nova dimensão de valor para além da miniaturização, denominada “More than Moore”. A inovação vai se realizar com o uso das tecnologias maduras em diversas novas aplicações, como em sensores, microfluídica, MEMs, interfaces integradas, optoeletrônica, eletrônica orgânica e híbrida etc.

Levando em conta as condições de contorno iniciais, com o país não dispondo de fundos bilionários para entrar no setor, o conceito fundamental da estratégia brasileira tem sido, e deverá continuar sendo, perseguir conjuntamente oportunidades baseadas nessas tecnologias maduras, ratificando a escolha feita após as conclusões do PNM e do estudo do BNDES.

No lado das aplicações, as oportunidades são derivadas tanto do vasto mercado brasileiro e existência de uma indústria local montadora em segmentos que utilizam conteúdo de microeletrônica (automotivo, saúde, telecomunicações etc.), como de projetos de interesse do governo (identificação de cidadãos, defesa, comunicação etc.). Novos paradigmas tecnológicos como a IoT também têm o potencial de demandar CIs, em aplicações de interesse público e privado. O Quadro 6 ilustra os principais alvos e oportunidades, sem a pretensão de ser exaustivo.

Nesses CIs, haverá diferentes graus de protagonismo e inovação, sem prejuízo à importância de cada segmento. Como exemplo, hoje o Brasil está na fronteira tecnológica na área de componentes ópticos e fotônica, conquista derivada do trabalho e conhecimento acumulado pelo CPqD em

¹⁹ Ex.: Para reduzir o tamanho de um capacitor (elemento armazenador de energia, usado em diversas funções na eletrônica), é necessário desenvolver novos materiais. Outro exemplo são as aplicações em eletrônica de potência e de alta voltagem, que têm suas dimensões definidas por leis da física e, por isso, têm mais limitações em serem reduzidas.

anos de pesquisa e desenvolvimento. Como prova de haver oportunidades de sinergia do ecossistema, nesse caso pode haver uma oportunidade para a Ceitec incorporar à sua operação atual uma fábrica para fotônica em silício.

Quadro 6 | Exemplos de alvos e aplicações

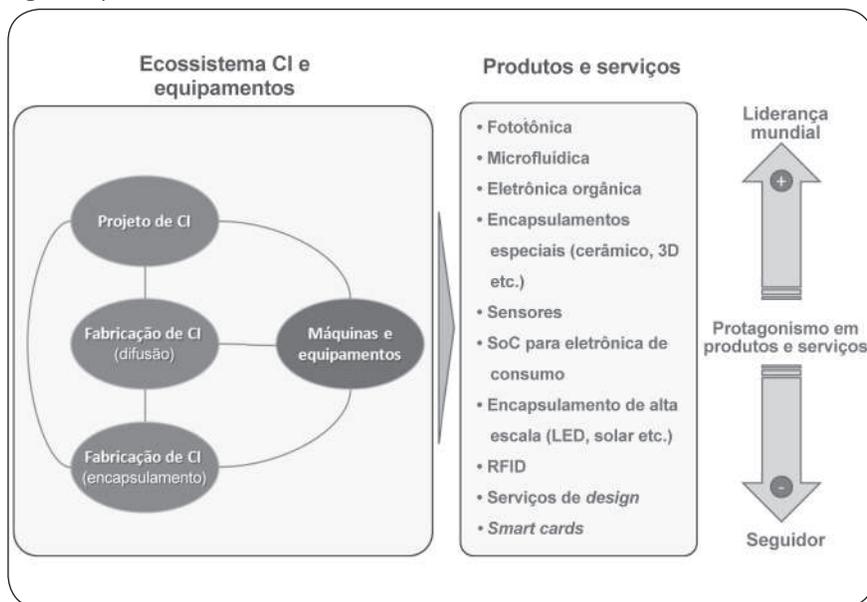
	Aplicações	Componentes
Projetos do governo	<ul style="list-style-type: none"> • Identidade • Segurança • Defesa • Comunicação etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Smartcards</i> (e-Passaoirt, Brasil-ID) • RFID (SINIAV) • Microprocessadores e ASICs para uso especial (confidencialidade militar, resistentes à radiação, criptografia etc.)
Automotivo	<ul style="list-style-type: none"> • Tração, transmissão e injeção • Sistemas de segurança e controle (ABS, <i>airbag</i> etc.) • <i>Infotainment</i> • Comunicação etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores • MEMS (acelerômetros etc.) • Microcontroladores • CI analógicos, <i>mixed-signal</i> e <i>high-voltage</i>
Saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos de monitoramento remoto • Sensores para identificação de enfermidades 	<ul style="list-style-type: none"> • MEMS (microflúidos, "<i>lab-on-a-chip</i>") • Sensores • ASICs
Telecom e eletrônica de consumo	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes para dispositivos móveis (celulares, <i>smartphones</i> e <i>tablets</i>) • Circuitos ópticos avançados 	<ul style="list-style-type: none"> • Memórias (eMMC, DRAM, Flash, SSD) • SoCs • Módulos de câmeras, componentes <i>wireless</i> e <i>multimedia</i> • Circuitos integrados e componentes ópticos para redes de alta velocidade
Internet das Coisas/ Cidades Inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreamento de frotas (SINIAV) • Iluminação pública eficiente • Smart Grid • Cidades Inteligentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores • RFID • ASICs para conectividade e RF • CI analógicos e <i>mixed-signal</i> • Memórias (<i>flash</i>)

Fonte: BNDES. Quadro não exaustivo de aplicações e CIs.

De forma semelhante, os desenvolvimentos em outras áreas, como microfluídica e eletrônica orgânica, proporcionam ao país oportunidade de inserção em áreas inovadoras. Já outros produtos ou serviços mais “comoditizados” dependerão mais de alavancas de estímulo de mercado. De qualquer forma, a atuação nas duas pontas, seja como “protagonista mundial” ou “seguidor”, se reforça e são ambas fundamentais para fortalecimento do ecossistema de microeletrônica no Brasil.

A Figura 6 ilustra o papel protagonista que a indústria brasileira pode exercer em diferentes produtos e serviços.

Figura 6 | Posicionamento do Brasil na indústria



Fonte: BNDES.

Por fim, há um conjunto de competências ainda pouco aproveitadas para alavancar o setor. Em época de carência mundial de engenheiro de *software* – que tem crescente participação no custo de desenvolvimento de um CI –, o país dispõe da oportunidade de se posicionar mundialmente, dada a reconhecida capacidade de brasileiros na área. Outra competência diz respeito à capacidade científica em áreas como medicina, agricultura, entre outras, cujo conhecimento não vem sendo convertido em silício, na inteligência de bens e equipamentos para a área.

Para aproveitar essas oportunidades, os embriões locais e as novas empresas terão que superar alguns desafios, descritos a seguir.

Desafios

Fabricação

Dado o porte das fábricas instaladas no país, Unitec e Ceitec se aproximam do modelo de negócios de empresas *fabless* com capacidade de produção para projetos próprios ou desenvolvidos em colaboração. Não obstante terem internamente tecnologias disponíveis para construção de alguns *chips*, tais empresas poderiam fornecer ao mercado produtos que demandem outros

processos produtivos, tais como *chips high-voltage* para equipamentos do setor elétrico, entre outras tecnologias e aplicações.

Na Unitec, serão exploradas oportunidades de parceria para o fornecimento de produtos já comercializados e também de produtos ainda não presentes no mercado local. Nos primeiros anos de produção, entretanto, a demanda local terá peso significativo para a empresa. A empresa atuará também no desenvolvimento conjunto com o ecossistema nacional de novos produtos, produzindo-os e comercializando-os no mercado global.

Dois grandes desafios devem ser enfrentados pela empresa pública **Ceitec S.A.** O primeiro diz respeito à sua condição de empresa pública, tendo restrições de regime de contratação de pessoal por concurso público e obrigatoriedade de realizar compras seguindo os procedimentos e regras da Lei 8.666/93, que disciplina as compras de empresas e órgãos públicos. Essa condição dificulta o dia a dia da empresa, desde a contratação de serviços e de especialistas do exterior, a retenção de talentos, a possibilidade de participação acionária de empresas no exterior e mesmo de receber investimentos de empresas estrangeiras. Realizar todo o ciclo de fabricação é outro grande desafio para a empresa. Embora a etapa final de *front-end* (processamento de lâminas), tenha iniciado apenas em 2014, em função de dificuldades operacionais, é mister que esteja homologada quanto antes.²⁰

Desafio adicional às *foundries* nacionais está relacionado ao acesso ao mercado mundial. Dificilmente haverá demanda local que justifique o investimento de fabricação. Por isso, o portfólio das *foundries* deve incluir produtos inovadores e que atendam a outras demandas em nichos específicos, como o da fotônica, e em novos mercados, como o da IoT.

Apesar de parte relevante da fabricação mundial ser em tecnologias de até 600 nm, em geral são produtos que envolvem amplo relacionamento com o cliente (ex.: automotivo), produzidos em fábricas concorrentes já depreciadas com escala superior. Quanto maior for o atraso, maior a obsolescência e a necessidade de desenvolver processos fortemente inovadores, o que demandará investimentos mais significativos. Todavia, há um leque de oportunidades para a fabricação no Ceitec, entre os quais os componentes microssistemas (MEMs) – ex.: sensores, giroscópios etc. – optoeletrônicos e fotônicos, bem como a possibilidade de retornar ao plano inicial de ser

²⁰ Em 2014, cerca de 50% do processo final de fabricação do Chip do Boi pôde ser feito no Ceitec, sendo as etapas iniciais feitas na Alemanha (X-Fab). Fonte: Demonstrações Financeiras Ceitec (2013).

uma fábrica de prototipagem e inovação. Existe ainda a possibilidade de fazer uma atualização da tecnologia da fábrica para 350 nm ou 250 nm, o que ampliaria o leque de alternativas de mercado, e até mesmo a parceria ou venda do ativo para fabricante integrado no ecossistema internacional.

Atuando em área de fronteira tecnológica, os desafios que se apresentam à **BrPhotonics** são distintos daqueles apresentados à Unitec e ao Ceitec. A empresa é uma *start-up* considerada líder em tecnologia para componentes de fotônica,²¹ que tem, entre os principais desafios, atuar em mercado global, de alta complexidade tecnológica e de relativos poucos compradores – equipamentos de telecom. Para manter sua vantagem competitiva em uma área nascente – fotônica em silício –, a empresa deverá trilhar o caminho natural da indústria eletrônica: integração do maior número de dispositivos em um menor número de componentes, participando do desenvolvimento de tecnologias, processos produtivos e materiais. Fazendo um paralelo com a microeletrônica, o estágio atual da fotônica em silício seria equivalente ao da década de 1970 da microeletrônica, em que os circuitos eram projetados manualmente e o conhecimento dos processos das fábricas tinha que ser continuamente validado anteriormente à produção.

Encapsulamento e testes

Para o elo de encapsulamento e testes, destacam-se os seguintes desafios:

- **Instabilidade do mercado de memórias (incorporadas ao *chip*):** está previsto o crescimento do mercado de memórias; no entanto, a entrada de novos *players* poderá reduzir as margens das empresas, demandando diversificação de aplicações e busca de novos parceiros tecnológicos.
- **Novas tecnologias de memórias de menor custo:** estão sendo previstas para os próximos anos. A possível integração das memórias em componentes de maior interação é outra alternativa tecnológica esperada.
- **Dependência dos fornecedores:** necessidade de fortalecer parcerias de longo prazo com os principais fornecedores de *wafers* – entre os quais, Samsung, SK Hynix, Micron, Toshiba e Intel.
- **Internacionalização/exportação:** embora ainda persistam fatores críticos para a competitividade internacional das operações locais –

²¹ Fonte: <<http://www.businesswire.com/news/home/20140306005367/en/BrPhotonics-Demonstrate-100Gbps-Integrated-TOSA-Reference-Platform#.VNo3B-bF-uJ>>.

entre os quais a escala de fabricação comparativamente menor, a dependência dos fornecedores de *wafers* e os entraves decorrentes da logística de importação e exportação –, deve-se estimular a busca de competitividade das memórias encapsuladas no Brasil, aproveitando oportunidades em negociações internacionais e na oferta de projetos especiais de novas memórias ou na exportação de memórias agregadas a bens finais.

Projetos de CIs

A despeito de se perceber esse elo do ecossistema como aquele com as menores barreiras de entrada em relação à fabricação, há relevantes desafios para sustentabilidade e crescimento dos embriões locais.

Entre esses desafios, é necessário ampliar a **formação de massa crítica**: atualmente, o país tem apenas duas dezenas de DHs e algumas centenas de *designers* em atividade, ao passo que países como a China têm mais de quinhentas *fabless*, das quais nove estão entre as cinquenta maiores do mundo (IC Insights) – e, segundo pesquisa realizada pela EE Times, empregam em média 160 *designers* –, com 34% das empresas *fabless* chinesas faturando mais de US\$ 50 milhões. Nesse caso o volume também importa: quanto mais *designers* trabalhando, maior a propensão a surgirem novas empresas.

Atrair novos centros cativos é importante nesse processo, mas depende em parte da existência de **casos de sucesso** que inspirem novos empreendedores e ajudem a credibilidade de empresas locais de projetos de CI privadas. Os embriões fabris – Unitec e Ceitec – poderão ter papel relevante com suas equipes próprias de *design* ou terceirizando para outras empresas/ICTs locais.

Apesar de ter uma grande indústria consumidora de CIs, pelas razões já citadas, há dificuldades de se **desenvolver o mercado local**. Outrossim, a indústria brasileira carece de empresas que façam desenho e projeto de produto no nível eletrônico e demandem volumes relevantes de CIs, razão pela qual estratégias traçadas no mercado externo também precisam ser consideradas, bem como a criação de empresas inovadoras em *hardware*.

Nesse ponto, há que se considerar o **perfil do empreendedor** de projetos de CI brasileiro, de formação técnica sólida, mas com pouca base em

negócios, experiência e credibilidade no exterior. Ações como o programa Ciências Sem Fronteiras e intercâmbios são importantes, porém é necessário criar oportunidades para retorno e fixação dessa mão de obra qualificada no país.

Uma forma de solucionar essa questão seria por meio de **centro(s) de P&D**, fundamental(is) para agregar conhecimento e inovação ao CI local. O caso do CPqD é emblemático: as credenciais para participar da cadeia global de desenvolvimento de CI vieram do reconhecimento da competência adquirida ao longo de anos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I) em sua área de atuação. A interação entre universidade e empresa no país ainda é aquém do necessário para introduzir novos produtos, tal como entre empresas de projeto de CI e fabricantes de equipamentos.

A oferta de **solução completa (*reference design*)** pode aproximar essa relação. Dada a aceleração da inovação, os fabricantes de equipamentos eletrônicos demandam progressivamente mais soluções completas, ficando mais concentrados nos atributos de *design* de funcionalidade, marca e interação com o usuário. Nesse contexto, os departamentos de engenharia de produto têm crescido significativamente nas *fabless* e IDMs, que passam a desenhar CIs já associados a produtos de referência que demonstrem as funcionalidades do *chip* e permitam customizações específicas. Tal tendência justifica a dificuldade das iniciativas que se posicionaram como DHs no CI Brasil, que tiveram muita dificuldade de acessar mercado.

Avanços e recomendações para a política brasileira de semicondutores

O país avançou bastante à luz dos requisitos necessários para desenvolvimento do ecossistema elencados no estudo do BNDES e no PNM, nas dimensões mostradas na Figura 4. Apesar disso, ainda há lacunas importantes a superar, que serão apresentadas a seguir, em conjunto com os avanços.

Formação de RH e P&D

Com início em 2005 e coordenado pelo MCTI, o programa **CI Brasil** tem como principal atribuição a formação de RH na área e estímulo à criação de DHs. O Quadro 7 exhibe os resultados alcançados por meio do investimento de cerca de R\$ 200 milhões entre 2005 e 2014.

Quadro 7 | Resultados do CI Brasil: treinamento

Foco	Ação	Resultados e comentários
Formação de RH	Formação profissional (treinamento de projetistas)	<ul style="list-style-type: none"> três centros de treinamento em funcionamento (Porto Alegre, Campinas e São Paulo) e um em gestação (Belo Horizonte) com capacidade de treinar duzentos projetistas/ano
		<ul style="list-style-type: none"> 726 <i>designers</i> treinados, com cerca de 30% destes atuando nas DHs locais e 60% em fabricantes de bens eletrônicos*
	Formação acadêmica (graduação e pós-graduação)	<ul style="list-style-type: none"> 103 bolsas de mestrado, 23 de doutorado e 976 bolsas para projetistas em treinamento nos centros de treinamento
		<ul style="list-style-type: none"> Projeto Brazil IP (qualificação de estudantes de graduação): 18 universidades, trezentos alunos, 25 projetos desenvolvidos (PI, FPGA e ASIC) aquisição de licenças de ferramentas EDA para universidades e centros de P&D: mais de quarenta instituições e centros de P&D participantes; 4.500 estudantes envolvidos
Centros de P&D	Modernização, estruturação e fortalecimento	<ul style="list-style-type: none"> apoio financeiro do MCTI, BNDES, Lei de Informática e Funttel: CTI, CPqD, Instituto de Pesquisas Eldorado, Instituto Flextronics e Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) (semicondutores), Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e CSEM (semicondutores orgânicos)

Fonte: MCTI (2014).

* Estimativas do coordenador do Programa de treinamento do CI Brasil.

Há consenso de que o Brasil tem logrado êxito em capacitar RH em projetos de CI. Além do aproveitamento direto da mão de obra formada, grande parte dos projetistas tem sido absorvida pela indústria de *hardware*, que, por estar constituída, oferece melhor remuneração. Tal fenômeno tende a fortalecer o ecossistema, uma vez que esses engenheiros apresentam a formação necessária para identificar a oportunidade e encomendar o desenvolvimento de CIs.

Entre os pontos de melhoria do programa de formação de RH e P&D, sugerem-se:

- **Fluxo de recursos previsíveis:** tal como em outras áreas de ciência e tecnologia, não há previsibilidade de longo prazo de recursos destinados para os objetivos do CI Brasil, como indica a Tabela 1, dificultando o planejamento das ações.

Tabela 1 | Recursos destinados à formação de pessoal – bolsas CNPq (em R\$ milhões)

Recursos	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Bolsas CNPq – CT, DH e PNM	3,8	14,0	12,0	17,0	2,5	7,0	19,3

Fonte: MCTI.

- **Atratividade:** a tarefa de atrair os maiores talentos é dificultada por estar limitada ao valor da bolsa concedida pelo CNPq e pelo fato de o curso de formação não conferir diploma de mestrado.
- **Centros de P&D:** não foram destinados recursos públicos significativos para fortalecer um centro de pesquisa na área, bem como nas universidades que atuam no setor – ex.: Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), UFRGS e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Ambiente de negócios, infraestrutura e logística

Além de formação de RH, o ambiente de negócios, a infraestrutura e a logística foram posicionados como critérios eliminatórios ao investimento no estudo contratado pelo BNDES. Em alguns dos condicionantes ao investimento, houve melhora significativa (a obtenção do grau de investimento, por exemplo); em outros fatores, apesar de não terem sido atingidos os *benchmarks* internacionais, os embriões têm conseguido contornar a contento – por exemplo, a agilidade na concessão de vistos a estrangeiros e o acesso a serviços públicos como água, saneamento etc.

Restam, contudo, questões de competitividade do país que podem ou não ser tratadas especificamente para o setor. Entre as passíveis de tratamento setorial, um regime aduaneiro ágil e eficiente permanece como um dos mais críticos desafios apontados pelos embriões em levantamento feito pelo BNDES em 2014. As operações de comércio exterior dessas empresas usualmente são parametrizadas em canais amarelo e vermelho no Siscomex, implicando custos e tempos adicionais na produção, prejudicando a competitividade local. É necessário, portanto, que haja trâmites ágeis, contínuos

e automáticos para esse setor (canal verde), com o devido monitoramento governamental posterior.

Ademais, o Brasil precisa enfrentar questões mais gerais para assegurar a competitividade de sua indústria, sobretudo para um setor tão complexo e dinâmico como o de microeletrônica. Segundo o *ranking* de competitividade geral (Fórum Econômico Mundial), o Brasil figura na posição geral de 57° em 144 economias (77° em infraestrutura, 104° em funcionamento das instituições e 126° em sistema educacional). Países asiáticos mais competitivos na indústria de eletrônicos estão em posições muito mais favoráveis, como Taiwan (14°), Japão (6°) ou Cingapura (2°).

Pacote de incentivos

Entre as ações implementadas pela política brasileira de apoio à indústria para fazer frente aos agressivos regimes tributários e à oferta de *funding* observados em outros países, sobressai a criação do **Padis**, em 2007, conferindo desoneração de determinados tributos federais incidentes na implantação industrial para um conjunto limitado de insumos e equipamentos, relacionados à produção e comercialização de dispositivos semicondutores e *displays*. Ademais, percebe-se um claro amadurecimento do arcabouço legal, inclusive com adesão de alguns estados e municípios que demonstram vocação setorial.

O apoio financeiro é dado por mecanismos de financiamento de longo prazo com taxas subsidiadas, apoio acionário (direto e por meio de fundos) e utilização de recursos não reembolsáveis para o desenvolvimento de projetos de CI por meio de ICTs em parcerias com empresas – Fundo Tecnológico (Funtec), do BNDES.

O Quadro 8 expõe o conjunto de regimes tributários e instrumentos de apoio financeiro que foram sancionados para melhoria da competitividade na cadeia de CI.

Quadro 8 | Evolução no marco legal tributário e *funding* na indústria de semicondutores

Instrumento	Descrição	Impacto
Padis [Lei 11.484/07]	Incentivos fiscais federais	Redução de tributos federais incidentes na estruturação e operação dos empreendimentos beneficiados.

(*Continua*)

(Continuação)

Instrumento	Descrição	Impacto
Lei 12.844/2013	Desoneração da folha de pagamentos (INSS)	Redução de custo do projetista de CI.
Leis estaduais	Redução ou isenção de ICMS para beneficiárias do Padis	Ampliação da desoneração tributária do Padis para alguns estados (ex.: RS, MG e SP).
Financiamento do BNDES e Finep – 2004-2014	Financiamento, participação acionária e <i>grants</i>	BNDES: Melhores condições de apoio do Banco. US\$ 367 milhões (38% <i>equity</i>) em apoio financeiro para fabricação (Ceitec, Unitec Brasil, HT Micron e Smart), <i>grants</i> de US\$ 95 milhões e US\$ 800 mil em <i>equity</i> para <i>design houses</i> (18 projetos de CIs). Finep: US\$ 167 milhões em apoio financeiro, do qual uma parte para a IDM (Unitec Brasil), e US\$ 7 milhões de <i>grants</i> para <i>design houses</i> .

Fontes: BNDES e Finep.

O Padis foi um passo importante para atração da indústria de microeletrônica para o Brasil, mas não evoluiu como deveria tanto em escopo dos incentivos como na atualização dos modelos de negócio da indústria e incorporação de novos produtos. Ademais, a morosidade em sua operacionalização, principalmente na atualização dos anexos (que descrevem em grande detalhe os insumos e equipamentos beneficiados pela redução de tributos), faz do Padis um regime um tanto desatualizado e com escopo limitado. Por meio de diversos levantamentos feitos com as empresas e técnicos do governo, uma série de medidas de aperfeiçoamento foram identificadas, sendo as mais importantes relacionadas a seguir:

- **Adequação para modelo *fabless*:** hoje o *chip* projetado no Brasil e produzido no exterior é tributado na importação. Considerando que esse é o modelo de negócios que mais cresce no mundo, é necessário adequar a legislação para que viabilize a desoneração do *chip* projetado/desenvolvido no país, mas fabricado no exterior.
- **Aprovação dos projetos por empresa e não por produto:** pela legislação, a empresa já é dedicada ao segmento; uma vez habilitada, apenas atualizaria os produtos periodicamente.

- **Desoneração de serviços:** a contratação de serviços é essencial para instalação e operação das fábricas de semicondutores, abarcando serviços técnicos altamente especializados. A carga tributária total incidente sobre serviços pode superar 45% (serviços externos) e hoje não é beneficiada pelo Padis, resultando em grande custo para as empresas, especialmente quando comparada às práticas de outros países.

Por sua vez, os mecanismos de financiamento apresentam, entre outras, as seguintes lacunas:

- **Apoio a *start-ups*:** a criação do fundo Criatec pelo BNDES para apoio a empresas nascentes inovadoras foi um passo importante para apoiar projetos de maior risco; no entanto, o alcance ainda é limitado pelo volume de recursos, pelo prazo de retorno dos investimentos e pela falta de especialização no segmento de circuitos integrados. Existe ainda uma lacuna no apoio às empresas nascentes, em especial *fabless*, que precisam de um volume maior de recursos para as etapas de *design* e prototipagem (podem facilmente ultrapassar dezenas de milhões de dólares) e podem demorar a ter retorno financeiro.
- **Agilidade:** os ciclos tecnológicos do setor de semicondutores são cada vez mais curtos, pela renovação acelerada da eletrônica de consumo e pelos avanços tecnológicos no desenvolvimento e produção dos componentes; portanto, é necessário que os prazos para os instrumentos financeiros de apoio ao setor sejam adequados a essa realidade.
- **Apoio ao desenvolvimento tecnológico:** o desenvolvimento dos CIs envolve uma série de riscos e, por isso, demanda recursos financeiros diferenciados; a maioria dos países tem instrumentos de apoio financeiro não reembolsável diretamente a empresas, algo inexistente no Brasil.

Desenvolvimento de mercado

A fim de estimular a criação de mercado para desenvolvimento e fabricação, diferentes mecanismos devem ser trabalhados em conjunto, tanto para aplicações de alto valor (foco das etapas de projeto e fabricação) como para aplicações de alto volume (foco do *back-end*). Os mecanismos mais importantes são o PPB (Lei de Informática), regulação de setores demandantes (saúde, energia, telecomunicações, transporte etc.), compras governamentais (como no caso de defesa, identificação, passaporte etc.) e exportação (direta ou embarcada).

O Quadro 9 ilustra os principais instrumentos disponíveis para estímulo ao mercado brasileiro de semicondutores.

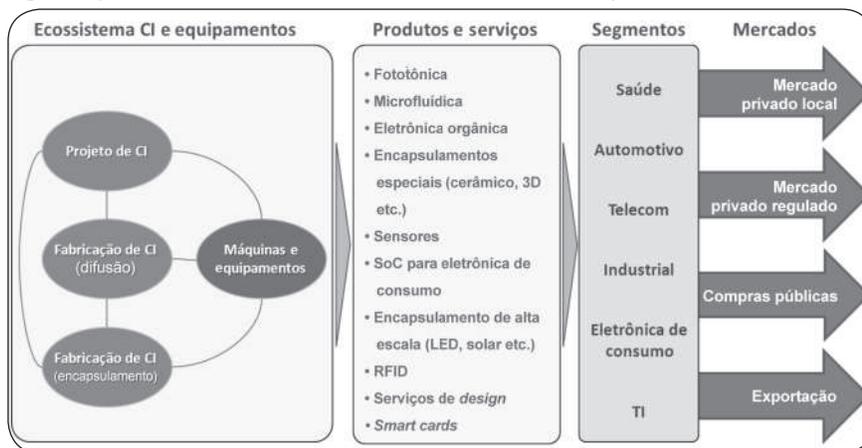
Quadro 9 | Evolução dos instrumentos para desenvolvimento de mercado

Instrumento	Descrição	Impacto
Lei de Informática (LI)	Estímulos à aquisição de memórias encapsuladas localmente.	Criação e fortalecimento de ecossistema de <i>back-end</i> de memórias no país.
Portaria MCT 950/06	Reconhecimento de bem desenvolvido com tecnologia nacional: desoneração tributária, financiamento à comercialização, participação em licitações públicas e leilões da Anatel em condições diferenciadas.	Estímulo ao projeto/ engenharia de bens eletrônicos, elo fundamental para demanda de CIs.
Poder de Compra Público (Lei 8.666/93 e Decreto 7.174/10)	Margem adicional para bens de TICs com desenvolvimento local (Portaria 950/06).	Bens eletrônicos contemplados com a Portaria 950/06 gozam de margem adicional em compras públicas.
Portaria MCTI 1.309/13	O bem que incorpora <i>chip</i> reconhecido por essa portaria obtém a Portaria 950/06 automaticamente.	Fortalecimento da relação entre a empresa de equipamentos eletrônicos e projetistas de CI locais.

Fonte: BNDES.

Para potencializar os benefícios desses avanços, algumas considerações são traçadas a seguir (Figura 7).

Figura 7 | Ecossistema de CI e atendimento aos mercados potenciais



Fonte: BNDES.

- **Demanda privada:** a Lei de Informática logrou êxito em construir uma indústria montadora de bens eletrônicos, com incentivos fiscais associados a investimentos em P&D e produção local. O advento da Portaria 950/06 e, mais recentemente, a Portaria 1.309/13 para circuitos projetados no país são exemplos de medidas que devem ser preservadas e aprofundadas,²² a fim de diferenciar os bens aqui projetados e aumentar a demanda por desenvolvimento de componentes concebidos por engenheiros locais. Trata-se de uma condição necessária para o ecossistema local prosperar: o estímulo ao projeto de produto local, seja este de empresas brasileiras, seja de multinacionais. Em outros setores produtivos que não estão sob o arcabouço da LI – mas que são relevantes consumidores de CIs de aplicações específicas, como os setores automotivos, energia, saúde, entre outros –, também há espaço para estimular o uso de eletrônica e CIs desenvolvidos localmente, como nas negociações de contrapartidas de regimes automotivos, normatização (alimentos, passaporte, remédios, rastreamento veicular, identificação de rebanhos) ou regulamentação em editais de agências – como a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) nos casos de *chips* relacionados à geração de energia, iluminação pública e telecom.
- **Poder de compra público:** o governo pode ser um agente importante para criação de mercado para componentes semicondutores. A experiência dos EUA é emblemática pela demanda e desenvolvimento de tecnologia pelas aplicações na área militar. No Brasil, além do potencial de explorar as aplicações de defesa, há oportunidades para abordar temas de interesse nacional usando sistemas de base eletrônica, principalmente regulamentando soluções baseadas em *chips* de identificação (ex.: identidade eletrônica e do passaporte).
- **Exportação:** a exportação de semicondutores pode se dar de três formas distintas: (i) prestação de serviço de *design* e venda de blocos de PI; (ii) venda de CIs (montados ou não) para fabricantes de equipamento no exterior; e (iii) venda de bens finais com microeletrônica nacional embarcada (computadores, *smartphones*, automóveis etc.). A inserção no mercado global, especialmente para as oportunidades

²² A Lei de Informática foi renovada recentemente (Lei 13.023/14), conferindo desoneração de 80% do IPI para bens montados localmente e 100% para bens com tecnologia nacional.

(i) e (ii), não é trivial e depende da construção de uma marca confiável e capacidade comprovada de entrega. Isso pode ser criado em parte pela atração de centros cativos e de empresas que usariam o Brasil como plataforma de desenvolvimento e fabricação e, em parte, pelo crescente estabelecimento de parcerias internacionais com *players* já posicionados no mercado mundial. De fato, o país tem potencial para atração mesmo de grandes empresas globais (Intel, Qualcomm, entre outras) para desenvolvimento de componentes e equipamentos adaptados ao mercado interno (e ser plataforma para exportação). Por fim, com o ingresso do grupo argentino Corporación América no controle da Unitec, são abertas oportunidades mais evidentes para exportação, sobretudo no mercado latino-americano.

Fomento aos investimentos

Atração de investimentos estrangeiros

Nesse período, foram organizadas diversas missões governamentais para os EUA, Taiwan, Malásia, Inglaterra, Alemanha, Japão, entre outros, com o foco na atração de investimentos fabris, *fabless* e centros cativos, além de fomentar a exportação de *design* pelas DHs instaladas no Brasil.²³

Apesar de os resultados na atração de investimentos terem sido tímidos²⁴ em função das barreiras ainda existentes e da melhor oferta de outros países, tais missões foram de grande importância não apenas para divulgar o Brasil como rota de investimento, mas também para o conhecimento das barreiras e desafios para os objetivos do PNM, servindo para consolidar um grupo técnico transversal e articulado no governo brasileiro.

Promoção de DHs locais

Além de formar recursos humanos, também foi designado ao **CI Brasil** o papel de atrair, fixar e promover empresas de *design* de CI. O Quadro 10 mostra os resultados alcançados.

²³ A opção Brasil acabou sendo preterida pelo pacote de incentivos apresentado por países concorrentes.

²⁴ É possível citar a ampliação do time de projetistas em P&D da Freescale Brasil como exemplo de sucesso de políticas de estímulo à formação de recursos humanos, através do CI-Brasil e de edital dirigido a essa finalidade.

Quadro 10 | Promoção de DHs locais

Instrumento	Descrição	Impacto
Formação de DHs locais	Bolsas <i>in-company</i> e licenças EDA	<ul style="list-style-type: none"> Apoio a 22 DHs (nove privadas, quatro privadas sem fins lucrativos e nove públicas) com licenças e bolsas CNPq. Setenta bolsas e licenças anuais para cem usuários.
Atração de DHs estrangeiras	Bolsas <i>in-company</i>	<ul style="list-style-type: none"> Cinquenta bolsas implementadas nos últimos seis anos, para apoio à ampliação do corpo de projetistas de um centro cativo local.

Fontes: MCTI e BNDES.

A despeito de a natureza dos investimentos em *design* ser de menor monta, as barreiras de entrada no setor não são desprezíveis, dependendo fundamentalmente de uma relação de confiança entre contratante do serviço e a DH. Tal relação é estabelecida com tempo e a partir da carteira de projetos já constituída. Em conjunto com recursos da Finep e do BNDES, os esforços de formação de DHs do MCTI proporcionaram um conjunto de 22 DHs apoiadas. Nenhuma delas alcançou ainda um produto de sucesso comercial, fundamental para divulgação e fortalecimento de todo o programa.

Alguns pontos de reflexão para melhoria do programa de formação de DHs são listados a seguir:

- **Fluxo de recursos previsíveis:** tal como apontado para formação de RH.
- **Aperfeiçoamento da estratégia:** passado o momento inicial exploratório, no qual foram semeadas as primeiras iniciativas, as DHs apoiadas pelo CI Brasil poderiam ser orientadas por uma estratégia quanto aos focos de desenvolvimento (produto, setores, mercados, tecnologias etc.) e modelos de negócio a serem priorizados (atração de centros cativos ou fortalecimento das DHs locais), acesso a mercado e oferta comercial, como forma de criar sinergia e fortalecimento de competências em determinadas áreas de especialização e do ecossistema, sem excluir outras que possam surgir fora da estratégia definida.
- **Orientação de mercado:** as dificuldades de desenvolvimento do mercado local pelas razões já apontadas somam-se à falta de estímulo

e instrumentos de apoio para que as DHs apoiadas desenvolvam mercado. Por exemplo, a forma de apoio é incompleta para *start-ups* e *fabless*, uma vez que seus custos vão além do salário do projetista, requerendo apoio para os custos fixos, para serviços de *foundries*, *marketing* etc. Por conseguinte, há forte concentração do apoio para ICTs públicas e sem fins lucrativos, frequentemente gerenciadas por professores universitários, que acumulam a tarefa de conduzir a DH às atividades docentes.

- **Sustentabilidade das DHs e dispersão de recursos:** é notório que, pela própria natureza da atividade, as DHs demandam tempo para amadurecer. Em função dos itens anteriores, sugere-se que o programa concentre recursos em torno de poucos projetos e DHs que sinalizem capacidade para executá-los.

Gestão e governança

O Brasil formou um grupo técnico com várias instituições governamentais – destacadamente MCTI, MDIC, ABDI, BNDES, Finep e Agência Brasileira de Promoção de Exportações do Brasil (Apex) – atuantes na defesa da indústria e na implementação das diversas medidas necessárias. Todavia, esse grupo não tem efetiva institucionalização e representatividade, tanto para atração de investimentos em missões internacionais quanto para empoderamento para executar as medidas necessárias.

O estudo do BNDES de 2002 já indicava que países bem-sucedidos em atrair investimentos elevaram o setor ao mais alto nível de prioridade na hierarquia do governo, chegando a formar agências específicas para cuidar do assunto, com equipes exclusivas para construir o relacionamento e gerar negócios. A Pitce, de forma semelhante, também previu a criação de uma “sala especial de atração de investimentos”, vinculada diretamente à Presidência da República. O decreto que a criou, em 2004, continua vigente, mas a sala não opera há alguns anos.

É fundamental que haja uma clara identificação dos líderes e participantes dentro do governo para promover o desenvolvimento da indústria coordenando todos os eixos de medidas. Os principais objetivos seriam: (i) evitar dispersão de esforços e garantir o alinhamento em torno de projetos-chave; e (ii) ter um canal único para interlocução com as empresas.

Conclusões

O complexo eletrônico no país está em uma encruzilhada. Ou aproveitará bem os embriões existentes e as oportunidades que surgem, construindo as bases de uma indústria brasileira intensiva em eletrônica e valor agregado, ou mais uma geração de empresários, pesquisadores, servidores públicos serão protagonistas ou espectadores de um novo “voo de galinha” do setor de semicondutores. Mais do que isso, o eventual fracasso dessa construção resultará, mais cedo ou mais tarde, no enfraquecimento de diversas cadeias produtivas locais, como em equipamentos médicos, autopeças e bens de capital.

Apesar de a tecnologia constantemente se renovar e ser eventualmente possível inserir o país no mapa mundial, a perda de direção e incentivo na década de 1990 foi determinante para ampliar o *gap* tecnológico em relação a países que iniciaram a trajetória na indústria junto com o Brasil e já, há pelo menos uma década, atingiram um estágio de maturidade do ecossistema.

Trata-se de uma indústria estratégica, cujo domínio da micro e nanoprodução e desenvolvimento implica vantagens comparativas dinâmicas, condição muito importante para que passos em futuras novas tecnologias possam ser dados. Um único microprocessador de milímetros pode chegar a mais de US\$ 100. Quantos quilos de soja seriam necessários para repor esse déficit comercial? Qual seria a massa salarial correspondente em ambos os casos? Qual seria a eficiência na cadeia logística e a correspondente modernização que poderia ser alcançada se o Brasil abraçasse com afinco o projeto de construir sua indústria de semicondutores?

Em meados dos anos 2000, o país optou por uma rota estratégica menos intensiva em capital que a de outras nações, que está sendo seguida desde então: tecnologias maduras em aplicações sinérgicas com a indústria local e potencial inovador por meio da adição de camadas tecnológicas, e foco em nichos de mercado para os primeiros passos da indústria.

Muito esforço foi colocado para a formação de pessoal e desenvolvimento de algumas tecnologias de vanguarda mundial; e hoje há embriões que podem explorar nichos de elevado valor agregado e competir no curto prazo em nível mundial – como nos campos de fotônica e eletrônica orgânica – e outros que podem competir em áreas tecnologicamente mais maduras, alavancando-se no mercado local – como RFID, ASICs, em áreas como IoT etc.

Como em todos os países que entraram nessa indústria, o governo tem e terá papel central. Deve atuar para remover as lacunas estruturais apontadas

(em especial, questões tributárias e logísticas/aduaneiras), desenvolver mercados, financiar a formação de recursos humanos, criar infraestrutura de P&D e oferecer alternativas de financiamento muito competitivas.

Em todas essas áreas, há desafios para o governo que se inicia, incluindo a previsibilidade nos recursos para formação de pessoal, efetiva instrumentação do poder de compra público para desenvolvimento de mercado e, no curtíssimo prazo, a renovação e o aperfeiçoamento do Padis.

Construir e fortalecer centros de inovação também é fundamental para o médio prazo, pois embasa a estratégia escolhida de diferenciação por inovação, adicionando camadas como microfluídica, eletrônica híbrida, novos materiais (ex.: grafeno) etc. Ainda, faz o elo entre a pesquisa científica e os produtos microeletrônicos e retém os talentos brasileiros e atrai cientistas e pesquisadores internacionais (intercâmbio internacional).

A inovação será chave para o sucesso brasileiro, sendo necessário criar alternativas adequadas de financiamento a *start-ups* que desenvolvam ou demandem CIs locais. Por demandar recursos relativamente elevados para financiar o desenvolvimento e produção inicial de CIs e com longo prazo para maturação, os fundos de investimentos tradicionais não têm demonstrado apetite para investir no setor, sobretudo considerando o estágio inicial do cenário brasileiro. Para evitar armadilhas orçamentárias, há que se considerarem os recursos não contingenciáveis de empresas e governo; e a utilização dos recursos de investimentos obrigatórios em P&D da Lei de Informática são candidatos naturais a financiar esse desenvolvimento – bem como o BNDES e a Finep, complementados por outros fundos orçamentários.

Porém, sem uma gestão focada com força dentro do governo e uma agenda de longo prazo estável, provavelmente as medidas necessárias não serão tratadas com a devida agilidade e profundidade. Com esses limitantes, o potencial de expansão dos embriões e demais investimentos em andamento podem impedir o crescimento e distanciar cada vez mais o Brasil da pujante indústria global de semicondutores.

Referências

ABDI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL.
Avaliação das estratégias de negócios das empresas de projeto de circuitos integrados do programa CI-Brasil. Jul. 2014.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Perspectivas para a microeletrônica no Brasil*. BNDES, 1995.

Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/elet03.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2014.

BOFA MERRILL LYNCH. *Moore and beyond: global semiconductors primer*. 2013.

BROWN, C.; LINDEN, G. *Chips and change: how crisis reshapes the semiconductor industry*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2009.

CISCO. *Internet of Everything – Supply chain transformation*. In: SEMI 2015, 2015.

GUTIERREZ, R.; LEAL, C. Estratégias para uma Indústria de Circuitos Integrados no Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, BNDES, n. 19, p. 3-22, mar. 2004.

GUTIERREZ, R.; MENDES, L. Complexo eletrônico: o projeto em microeletrônica no Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, BNDES, n. 30, p. 157-210, set. 2009.

IC INSIGHTS. *Semiconductor content in electronic systems sets record in 2010!*. Jan. 2011. Disponível em: <<http://www.icinsights.com/news/bulletins/Semiconductor-Content-In-Electronic-Systems-Sets-Record-In-2010>>. Acesso em: 1 dez. 2014.

_____. *Cellphones pass PCs as biggest Systems Market and IC user*. Nov. 2013. Disponível em: <<http://www.icinsights.com/news/bulletins/Cellphones-Pass-PCs-As-Biggest-Systems-Market-And-IC-User>>. Acesso em: 2 dez 2014.

_____. *Major trends shaping the future integrated circuit industry*. In: SEMI ISS 2014, 2014.

MAZUREK, J. *Making Microchips: Policy, Globalization, and Economic Restructuring in the Semiconductor Industry (Urban and Industrial Environments)*. Cambridge, MA: MIT Press, 2003.

MCKINSEY. *Semiconductors for wireless communications: Growth engine of the industry*. 2012. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/~/>>

media/mckinsey/ dotcom/client_service/semiconductors/issue%20%20autumn%202012/pdfs/semiconductors_for_wireless_communications.ashx>. Acesso em: 4 dez. 2014.

_____. *Moore's Law: Repeal or renewal?* 2013. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/insights/high_tech_telecoms_internet/moores_law_repeal_or_renewal>. Acesso em: 4 dez. 2014.

_____. *Semiconductors in China: Brave new world or same old story.* 2014. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/insights/high_tech_telecoms_internet/semiconductors_in_china_brave_new_world_or_same_old_story>. Acesso em: 4 dez. 2014.

MELO, P.; RIOS, E.; GUTIERREZ, R. Componentes eletrônicos: perspectivas para o Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, BNDES, n. 13, p. 3-64, mar. 2001.

MORRIS, P. *A history of the world semiconductor industry.* London, UK: Peter Peregrinus Ltd., 1990.

NAEHER, U.; SUZUKI, S.; WISEMAN, B. *The evolution of business models in a disrupted value chain.* 2011. Disponível em: <mckinsey.com/client_service/semiconductors/latest_thinking/the_evolution_of_business_models_in_a_disrupted_value_chain>. Acesso em: 3 fev. 2015.

NEVES, M. *A estratégia brasileira de microeletrônica: oportunidades e desafios para estruturação de um ecossistema regional.* Fórum Nacional, 2014.

PROGRAMA NACIONAL DE MICROELETRÔNICA (PNM): *Contribuições para a formulação de um Plano Estruturado de Ações.* Ministério da Ciência e Tecnologia. Secretaria Executiva; Secretaria de Política de Informática. Brasília: dez. 2002. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2378.pdf>. Acesso em: 4 dez 2014.

RUSSIAN NEWS AGENCY. *Russia launches ARM chip effort to end X86 dependence.* 2014. Disponível em: <<http://www.enterprisetech.com/2014/06/25/russia-launches-arm-chip-effort-end-x86-dependence>>. Acesso em: 3 fev. 2015.