

Estratégias para uma indústria de circuitos integrados no Brasil

Regina Maria Vinhais Gutierrez
Cláudio Figueiredo Coelho Leal

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

ESTRATÉGIAS PARA UMA INDÚSTRIA DE CIRCUITOS INTEGRADOS NO BRASIL

Regina Maria Vinhais Gutierrez
Cláudio Figueiredo Coelho Leal*

** Gerentes no Departamento da Indústria Eletrônica do BNDES. Os autores agradecem a colaboração dos demais membros do grupo de trabalho interministerial de acompanhamento do estudo sobre microeletrônica: Mauricio Serrão Piccinini (coordenador), Julio César Maciel Ramundo, Maurício dos Santos Neves, Carlos Henrique Cabral Duarte, Antonio Sérgio Martins Mello (MDIC), Henrique de Oliveira Miguel (MCT) e Roberto Pinto Martins (MCT). Agradecem, principalmente, ao coordenador geral do trabalho – Paulo Roberto de Sousa Melo –, a quem este artigo é dedicado in memoriam.*

COMPLEXO ELETRÔNICO

Resumo

A importância crescente da eletrônica na vida do homem moderno, seja como setor econômico per se, seja como elemento transformador de outras cadeias produtivas, tem sido largamente noticiada. Além disso, a tendência de concentração de parcela cada vez maior do valor dos bens eletrônicos em dois pilares – microeletrônica, cujo representante mais notório é o circuito integrado, e software – fez com que estes fossem eleitos pelo governo, durante 2003, como setores prioritários para a formulação de uma política industrial, tecnológica e de comércio exterior, ao lado de fármacos e bens de capital.

O BNDES, no âmbito das ações promovidas pelo Fórum da Competitividade do Complexo Eletrônico, patrocinado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), realizou um estudo visando à implantação de uma indústria de circuitos integrados no Brasil. Tal estudo, contratado a um consórcio de consultores internacionais e acompanhado por um grupo interministerial do qual fazia parte, além do BNDES e do próprio MDIC, o Ministério da Ciência e Tecnologia, foi finalizado paralelamente às primeiras discussões sobre a política setorial de microeletrônica. Esta teve suas linhas básicas, que incluíam resultados do estudo, apresentadas à Câmara de Política Econômica do Conselho do Governo em janeiro de 2004.

O presente artigo resume os objetivos que nortearam a execução do estudo, trata da metodologia utilizada e apresenta conclusões, especialmente sobre a avaliação de estratégias – de produtos e modelos de negócio – de potenciais investidores. São enumerados também os requisitos básicos necessários a quaisquer empreendimentos voltados para a fabricação de componentes microeletrônicos, assim como as principais recomendações para os negociadores brasileiros.

Introdução¹

O estabelecimento de uma nova estratégia de desenvolvimento econômico e social para o Brasil constitui o passo seguinte ao esforço de estabilização macroeconômica ora em curso. Os ingredientes dessa nova estratégia estão agrupados em dois vetores de iniciativas que, tomadas em conjunto, representam condições necessárias ao aumento da taxa de investimento privado, à promoção da eficiência econômica geral e à competitividade das empresas. São eles: a) a reorganização dos marcos regulatórios, especialmente na infra-estrutura, com o objetivo de criar um ambiente estável e previsível ao investimento; e b) a desoneração, a partir de um conjunto de medidas de ordem tributária, jurídica e fiscal, do custo de crédito, visando ao estabelecimento de condições competitivas para o investimento privado no Brasil. A esses dois eixos deve ser acrescentada a necessidade de instrumentos orientados para a elevação do volume global de comércio exterior, condição imprescindível para a redução da vulnerabilidade externa da economia brasileira.

Esse conjunto de ações horizontais, no entanto, produzirá resultados tanto mais desejáveis quanto maior for a sua combinação com ações focalizadas em setores ou cadeias produtivas capazes de responder ao desafio de incorporar à pauta de comércio exterior conteúdo tecnológico, inovação e mão-de-obra qualificada. A criação, enfim, de vantagens competitivas em setores intensivos em conhecimento e que demandam esforços permanentes de pesquisa e desenvolvimento (P&D) é o que deverá assegurar, no longo prazo, condições de competitividade sustentada ao Brasil.

A indústria de semicondutores, pelo fato de ser o elo a partir do qual são gerados a inovação e o progresso tecnológicos nos diversos ramos do complexo eletrônico, com impactos positivos em outros segmentos da economia, é um dos setores com elevado potencial de criação de vantagens competitivas. Trata-se de um mercado que atingiu vendas globais de US\$ 140 bilhões em 2002 e que tem apresentado, em nível mundial, taxas médias de crescimento anual da ordem de 13,5% nos últimos 25 anos. Para os próximos cinco anos, prevê-se a manutenção do ritmo de crescimento em taxas superiores a 12% ao ano.

O complexo eletrônico possui uma importância que em muito extrapola os seus limites, estando a eletrônica presente em quase todas as atividades da vida humana moderna. Ela surge na base de outros setores econômicos, do controle de processos produtivos aos bens de capital, das atividades agropecuárias ao comér-

¹Incorpora alguns trechos, reproduzidos com autorização das autoras, de GUTIERREZ, R. M. V., e ALEXANDRE, P. V. M., *Complexo eletrônico brasileiro e competitividade*, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 18, p. 165-192, set. 2003.

cio, dos serviços de saúde ao mercado financeiro, dos projetos de engenharia à mecânica. Além disso, um grande número de dispositivos tradicionais vêm sendo rapidamente substituídos, tecnologicamente atualizados pela incorporação de módulos eletrônicos, que adicionalmente lhes conferem a realização de novas funções.

Tal disseminação da eletrônica tem sido possibilitada por fenômenos como a miniaturização e o barateamento dos produtos eletrônicos. O motor dessa evolução é a integração de circuitos inteiros em um único componente – o circuito integrado –, ou seja, a construção em um diminuto pedaço de material semicondutor (silício) de um componente que simula completamente o funcionamento de todo um circuito com centenas de outros componentes. A integração em larga escala tem tornado possível também a realização de novas e mais complexas funções por um único componente. Verifica-se, assim, que a “inteligência” de um produto, cada vez mais, encontra-se integrada em seus componentes microeletrônicos, estando o domínio sobre um determinado bem final associado, mais que à sua fabricação, ao domínio sobre esse segmento.

O Brasil é um dos poucos países, entre as maiores economias mundiais, a não possuir um complexo eletrônico que contemple a manufatura de circuitos integrados. Além disso, a fabricação de bens eletrônicos no país restringe-se, com exceções, à montagem pura e simples a partir de um conjunto total de componentes importados (*kits*), o que agrega pouco valor aos produtos. A criação de uma indústria de circuitos integrados propiciará uma reversão dessa situação, fortalecendo a cadeia eletrônica na medida em que será reduzida a dependência de elos – de projeto e de produção de componentes – que hoje estão fora do país. Como consequência, será favorecido o surgimento de inovações capazes de conferir maior competitividade aos produtos, bem como de novos postos de trabalho qualificado, em projetos de bens finais e componentes e em processos produtivos complexos.

A experiência internacional mais recente em países que tiveram êxito na atração da indústria de circuitos integrados revela a necessidade de políticas agressivas de incentivo à implantação dos fabricantes, o que decorre tanto dos elevados custos de investimento quanto dos requisitos mínimos de infra-estrutura física e de capacitação de recursos humanos exigidos para a fabricação de componentes. Em menor ou maior grau, pode ser identificada nessas experiências a adoção de instrumentos que envolvem subsídios, renúncia fiscal e incentivos financeiros diretos em horizonte de tempo não inferior a 10 anos.

Sobre esse conjunto inicial de considerações, e à luz da experiência internacional, o Fórum da Competitividade do Complexo Eletrônico – iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) que congrega representantes de todas as

entidades interessadas no setor oriundas do governo, da indústria e da classe trabalhadora – indicou a necessidade da realização de um estudo para atração de fabricantes de circuitos integrados. Em comum acordo com o MDIC, o BNDES, através de licitação pública, contratou um consórcio de consultores – A. T. Kearney, International Data Center (IDC) e Azevedo Sette – para a realização do trabalho, que foi acompanhado por um grupo interministerial do qual participaram tanto o BNDES e o MDIC quanto o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

A opção por estratégias voltadas para a atração de fabricantes internacionais de circuitos integrados para o Brasil resultou da constatação de que as barreiras à entrada no segmento são elevadas, principalmente pela necessidade de se assegurar uma escala mínima de produção que depende de vendas globais. Nesse caso, ao menos no curto/médio prazo, apenas as empresas que já dispõem de acesso ao mercado internacional são capazes de superar tal obstáculo. Em adição, por já considerar o domínio da tecnologia de produção, a estratégia voltada para a atração de investidores internacionais irá diminuir o tempo e o risco associados ao desenvolvimento de capacidade local de fabricação de circuitos integrados. Isso não significa que devem ser desconsideradas estratégias de estruturação dessa indústria com a participação de empresas privadas nacionais ou mesmo do governo brasileiro.

O estudo levou em consideração os custos e os benefícios das diversas opções de entrada do Brasil no grupo de países que possuem o elo de fabricação de circuitos integrados. As estratégias avaliadas, como será visto, colocaram lado a lado grandes empresas líderes mundiais, que trabalham na fronteira da tecnologia, e empresas do segmento médio de mercado, representado por plantas de tecnologia madura e com menor capacidade de produção que aquelas.

Contudo, é primordial ter clareza em relação aos benefícios esperados com a implantação de uma indústria de circuitos integrados. Deve-se ter sempre em vista os objetivos governamentais de aumento da competitividade e do adensamento do complexo eletrônico brasileiro, de fortalecimento do processo de inovação tecnológica no Brasil e de geração de empregos qualificados em alta tecnologia. Esses objetivos de natureza qualitativa, aos quais se somam impactos quantitativos esperados, como, por exemplo, na balança comercial do setor, são detalhados a seguir.

A implantação, no Brasil, de uma indústria de circuitos integrados trará como primeiro benefício o adensamento da cadeia eletrônica, preenchendo importante lacuna no suprimento de componentes. Esses semicondutores possuem a característica de poderem ser utilizados em bens finais dos diversos segmentos que compõem o complexo eletrônico, tais como os de produtos de infor-

Benefícios de uma Indústria de Circuitos Integrados

mática, equipamentos de telecomunicações, bens de consumo, automação industrial e instrumentação médica.

A fabricação de circuitos integrados no país deverá também propiciar a realização de um maior número de projetos de bens finais no Brasil, aumentando o conteúdo tecnológico desses produtos e proporcionando um maior domínio sobre eles, conceito que está associado à governança da cadeia produtiva.

O adensamento da cadeia produtiva do complexo eletrônico promovido pela implantação de uma indústria de circuitos integrados tem um significado bastante preciso, considerando-se o fato de que a montagem a partir de *kits* importados define a maior parte dos fabricantes de bens eletrônicos no Brasil. Isso porque a utilização de circuitos integrados de fabricação local necessariamente implicará a “abertura” de alguns desses *kits*, o que poderá viabilizar também a produção de outros tipos de componentes que, em função do uso disseminado dos conjuntos fechados, enfrentam hoje um estreitamento do seu mercado.

A realização local de projetos de circuitos integrados, por seu turno, fornecerá a base para o desenvolvimento de diferenciações ou inovações dos bens aos quais são incorporados, com reflexos diretos sobre a competitividade desses bens, os quais compreendem não apenas os produtos eletrônicos propriamente ditos, como também os bens finais de outras cadeias produtivas que utilizam circuitos integrados através da eletrônica embarcada. Dentre tais setores potencialmente beneficiados, podem ser citados o automobilístico, o de bens de consumo de linha branca, o aeroespacial e o de bens de capital.

O desenvolvimento de atividades de projeto no país, tanto de componentes quanto de bens finais, obviamente demandará um aumento do número de empregos qualificados. Em particular para a fabricação de circuitos integrados, são esperados significativos investimentos em formação e capacitação de mão-de-obra, em paralelo à utilização crescente de empregados brasileiros na planta produtiva.

A fabricação de circuitos integrados no Brasil exercerá um impacto positivo na balança comercial do complexo eletrônico. Além da substituição de importações desses componentes, parte significativa da produção deverá ser exportada, já que a escala mínima que torna um tal projeto de fabricação no país viável deve obrigatoriamente contemplar a comercialização desses semicondutores no mercado internacional. Não é demais lembrar que é no segmento de componentes – e, dentro deste, no subgrupo de circuitos integrados – que se apresenta de forma mais expressiva e persistente o déficit comercial do complexo eletrônico, conforme pode ser visto na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1

Brasil: Balança Comercial do Complexo Eletrônico – 1996/2003

(Em US\$ Milhões)

DISCRIMINAÇÃO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Importações	6.859	7.875	7.108	6.892	9.278	8.839	5.714	5.934
Informática	1.454	1.489	1.529	1.447	1.853	1.715	1.307	1.236
Eletrônica de Consumo	1.037	1.048	623	371	412	361	424	328
Telecomunicações	2.087	2.753	2.682	2.711	3.435	3.753	1.511	1.483
Componentes	2.280	2.585	2.274	2.364	3.578	3.010	2.472	2.888
Circuitos Integrados	810	941	867	1.060	1.568	1.445	1.231	1.454
Exportações	1.049	1.199	1.189	1.445	2.492	2.571	2.403	2.377
Informática	281	268	247	337	375	293	164	211
Eletrônica de Consumo	386	411	371	354	434	385	280	254
Telecomunicações	154	288	330	494	1.311	1.552	1.547	1.548
Componentes	229	232	241	261	372	341	412	365
Circuitos Integrados	9	8	6	6	42	53	72	32
Saldo	(5.810)	(6.676)	(5.919)	(5.446)	(6.786)	(6.268)	(3.311)	(3.557)
Informática	(1.174)	(1.221)	(1.281)	(1.110)	(1.478)	(1.422)	(1.143)	(1.026)
Eletrônica de Consumo	(651)	(637)	(252)	(17)	22	24	(145)	(74)
Telecomunicações	(1.933)	(2.464)	(2.353)	(2.217)	(2.124)	(2.201)	37	66
Componentes	(2.052)	(2.353)	(2.033)	(2.103)	(3.206)	(2.669)	(2.060)	(2.523)
Circuitos Integrados	(801)	(933)	(861)	(1.053)	(1.527)	(1.393)	(1.159)	(1.422)

Fonte: Secex (agregação BNDES).

É possível afirmar que as estatísticas de comércio exterior do complexo eletrônico, apesar de destacarem em linha específica as transações referentes a circuitos integrados, *subestimam o tamanho real desse déficit*. Isso se deve ao fato de haver circuitos integrados inseridos em bens finais e partes e peças de produtos de informática, telecomunicações e eletrônicos de consumo importados, bem como em módulos integrados a bens importados de diversos outros setores, o que se convencionou chamar eletrônica embarcada.

Por fim, esse conjunto de benefícios visa estimular, a médio prazo, *a formação de arranjos produtivos ao redor das novas fábricas de circuitos integrados*. Conforme demonstra a análise das experiências de países selecionados, a sustentabilidade de um investimento em fabricação de circuitos integrados está intrinsecamente ligada à *criação de um ecossistema microeletrônico integrando fabricantes de componentes, fornecedores, fabricantes de bens finais, empresas de projeto, instituições de ensino, além de pelo menos um centro de referência* que dê suporte às atividades de desenvolvimento da indústria e de geração de conhecimento.

Até o final da década de 1980, a maior parcela da produção de circuitos integrados era atendida pelos países desenvolvidos, em especial os Estados Unidos e o Japão. A primeira metade da

Experiência Internacional

década seguinte foi caracterizada pela forte expansão dos países denominados “Tigres Asiáticos”, que passaram a dominar a fabricação mundial de produtos eletrônicos. Essa rápida expansão foi resultado da aplicação de políticas governamentais de longo prazo visando, entre outros fatores, ao aumento do valor agregado de sua produção industrial. Para isso, políticas agressivas de atração de investimentos foram implementadas para impulsionar a produção de circuitos integrados localmente.

Atualmente, entre os países importantes na produção de circuitos integrados, existem economias em desenvolvimento com forte ênfase no comércio exterior, destacando-se, em 2002, as exportações da China (US\$ 3 bilhões), Irlanda (US\$ 6 bilhões), Malásia (US\$ 13 bilhões) e Taiwan (US\$ 15 bilhões). A China, que também é grande importadora de circuitos integrados, merece destaque pelo sucesso das iniciativas de atração dessa indústria, as quais tiveram início somente na década de 1990.

Nota-se também a manutenção de investimentos consideráveis para a retenção dessa indústria nos países desenvolvidos, como, por exemplo, Japão, Alemanha, Estados Unidos e França. Um dos motivos identificados foi a classificação da indústria de circuitos integrados como estratégica pelos governos desses países. De forma resumida, razões de segurança nacional têm levado os governos a incentivar a geração de tecnologia de ponta, que é absorvida pela indústria local, elevando a competitividade do complexo eletrônico e, finalmente, auxiliando na geração de divisas por intermédio de receitas de *royalties* e exportação de bens com maior conteúdo tecnológico.

É importante assinalar que todos os países que atraíram fabricantes de circuitos integrados implementaram programas agressivos, que se traduziram em políticas de longo prazo ainda em vigor. Em diversos casos, os governos analisados ofereceram incentivos iniciais para atrair investimentos no elo de fabricação através de investimentos diretos em fábricas, conforme demonstra a Tabela 2 a seguir.

Os exemplos constantes da tabela, que não são exaustivos dos esforços de atração de fabricantes de circuitos integrados, evidenciam o fato de que tanto países em desenvolvimento quanto desenvolvidos adotaram ou ainda adotam políticas ativas para esse setor. O detalhamento de algumas dessas políticas também foi parte importante do estudo, que comparou diferentes experiências de fomento dos governos à indústria desses componentes em nove países.

A experiência dos países demonstra claramente que, se o governo brasileiro quiser atrair investimentos para a fabricação de circuitos integrados, com o objetivo de promover o aumento da competitividade da indústria, deverá apresentar uma política agressiva e competitiva em relação aos países concorrentes.

Tabela 2

Exemplos de Esforços de Atração de Empresas Baseados em Estímulos do Governo

PAÍSES	FABRICANTES ATRAÍDOS	INVESTIMENTOS (US\$ Bilhões)	EXEMPLOS PONTUAIS DE ESTÍMULOS GOVERNAMENTAIS
Alemanha (Dresden)	AMD	2,3	Incentivos da ordem de US\$ 430 milhões (doações e juros subsidiados)
China	Motorola, NEC, Mitsubishi, STM e Philips	3,1	<i>Joint ventures</i> em que o capital chinês (público e privado) corresponde a US\$ 1,5 bilhão
Coréia do Sul	Hynix Samsung	9,8 9,3	Empresas de capital coreano financiadas pelo governo
Irlanda	Intel	4,5	Redução do imposto corporativo para a alíquota de 10%
Israel	Intel	3,5	10 anos de isenção de imposto de renda e doações de até 30% do investimento inicial
Taiwan	UMC	n.d.	Fundada com participação do governo
Malásia	Mimos	1,2	<i>Joint venture</i> com o governo malaio (iniciou-se como um instituto de pesquisa e desenvolvimento)

Fonte: Consórcio A. T. Kearney/Azevedo Sette/IDC.

A escolha da melhor opção de entrada para o Brasil na indústria de circuitos integrados exigiu, ao longo do estudo, o mapeamento da cadeia produtiva e dos modelos de negócio existentes na indústria de semicondutores. Foram estudados também os circuitos integrados com maior expressão, atual e prevista, no mercado mundial. Em seguida, o estudo identificou a distribuição da indústria nos diversos países e o posicionamento dos principais competidores. Esse trabalho prévio foi necessário para assegurar que a proposição de uma política de atração para a indústria de circuitos integrados estivesse sintonizada com as intenções de investimento das principais empresas. Os consultores responsáveis pela elaboração do estudo, com base em entrevistas diretas junto aos fabricantes, realizaram um levantamento bastante abrangente dessas intenções, o que deu suporte à análise da estratégia de entrada mais adequada para o Brasil.

A indústria de circuitos integrados é extremamente dinâmica, aliando o lançamento de produtos inovadores a progressos no processo produtivo, o que faz com que o investimento em novas plantas, mesmo em períodos de demanda pouco aquecida, seja constante. Na Tabela 3 a seguir estão apresentados os investimentos identificados no estudo a serem realizados até 2006. Como se pode observar, dadas as características do ciclo de inovação tecnológica na fabricação de circuitos integrados, os investimentos não se limitam às empresas de maior projeção internacional em termos de marca ou produto, mas definem, para todas as empresas, a própria condição de sobrevivência na indústria.

Estratégias para Atração da Indústria de Circuitos Integrados

A análise da cadeia de valor de um circuito integrado mostra que a sua produção envolve etapas distintas, quais sejam:

- a concepção do produto, que pode ser realizada em conjunto com o fabricante do bem final no caso dos circuitos integrados customizados, ou sob encomenda;
- o projeto do circuito integrado (*design*);
- a fabricação propriamente dita, compreendendo o processamento físico-químico (etapa denominada de *front-end*);
- a montagem, encapsulamento e teste do produto (etapa denominada de *back-end*); e
- o serviço ao cliente.

Tabela 3

Investimentos Programados em Plantas de Fabricação de Circuitos Integrados até 2006

	EMPRESAS	PAÍSES ESCOLHIDOS PARA AS NOVAS FÁBRICAS	NÚMERO DE F1 ^a	NÚMERO DE F2 ^a	NÚMERO DE F3 ^a	PRODUTOS A SEREM FABRICADOS
1	ACSMC	China		1		Circuitos Lógicos/Outros
2	ASMC	China		1		Fundição Especializada
3	CSMC	China		1		Fundição Especializada
4	Grace Semi	China		1		Fundição Especializada
5	Anam	Coréia do Sul			1	Fundição Especializada
6	Dongbu	Coréia do Sul			1	Fundição Especializada
7	Hynix	Coréia do Sul	1			Planta-Piloto
8	Cypress Semi	Estados Unidos			1	Memórias SRAM
9	IBM	Estados Unidos	1		1	P&D, Lógicos/Outros
10	Infineon	Estados Unidos			1	Memórias DRAM
11	Microchip	Estados Unidos		1		Microcontroladores (MCU)
12	Micron	Estados Unidos	1		1	Memórias DRAM
13	Atmel	Estados Unidos e Inglaterra		1	1	Memórias <i>Flash</i> / Microcontroladores
14	Intel	Estados Unidos, Israel e Irlanda	1		4	Microprocessadores (MPU)
15	Elpida	Japão			1	Memórias DRAM
16	Fujitsu/AMD	Japão			1	Memórias <i>Flash</i>
17	Matsushita	Japão			1	Circuitos Lógicos/Outros
18	1st Silicon	Malásia			1	Fundição Especializada
19	Angstrem	Rússia		1		Planta Integrada (IDM)
20	Au Pte	Cingapura			1	Circuitos Lógicos/Outros
21	Chartered	Cingapura			1	Fundição Especializada
22	Macronix	Taiwan	1		2	Memórias <i>Flash</i>
23	AMD	Alemanha			1	Microprocessadores (MPU)

Fonte: Consórcio A. T. Kearney/Azevedo Sette/IDC.

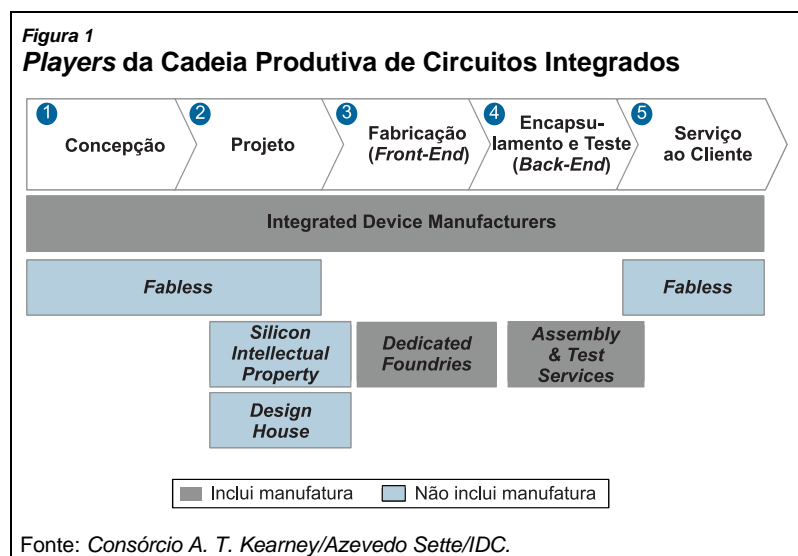
^aAs denominações F1, F2 e F3 referem-se a uma terminologia de classificação de plantas de fabricação de circuitos integrados proveniente do Programa Nacional de Microeletrônica, cujas características são as seguintes: F1 refere-se à fábrica de prototipagem de pequenas séries, com produção em baixa escala e investimentos entre US\$ 10 milhões e US\$ 100 milhões; F2 refere-se à fábrica de tecnologia não sendo de ponta (trailing-edge), com investimentos entre US\$ 500 milhões e US\$ 1 bilhão; e F3 refere-se à fábrica de tecnologia de ponta (leading-edge), com investimentos acima de US\$ 1 bilhão.

É relevante observar que a etapa de *back-end* para memórias é realizada no país, há cerca de 20 anos, pela Itautec Philco. O *design* é igualmente realizado no Brasil pela Motorola há cinco anos. Contudo, de todas as etapas citadas, aquela que agrega mais valor ao produto é a de *front-end*, e esta não existe no Brasil.

Os fabricantes de circuitos integrados podem ser classificados segundo o seu tipo de negócio ou forma de atuação na cadeia de valor como se segue:

- os fabricantes integrados, cuja atividade vai da concepção e projeto do componente até a entrega ao consumidor do produto, o qual leva a sua marca, e são denominados internacionalmente *integrated device manufacturers*;
- as empresas sem fábrica (*fabless*), que realizam o projeto do produto e são as detentoras da marca e do mercado junto aos clientes – fabricantes de bens finais –, terceirizando a etapa de fabricação do componente às fundições especializadas (*dedicated foundries*);
- as fundições especializadas (*dedicated foundries*), que realizam unicamente o processamento físico-químico dos produtos;
- os encapsuladores, dedicados à etapa de *back-end*;
- as empresas de projeto (*design houses*) independentes, remuneradas pelos fabricantes integrados por tarefa realizada; e
- as empresas de propriedade intelectual (IP), que desenvolvem células específicas de projeto e as licenciam a terceiros, sendo remuneradas por meio de pagamento de *royalties*.

Na Figura 1 a seguir estão resumidas as informações apresentadas anteriormente.



Existem diversos tipos de circuitos integrados, cada qual configurando um subsegmento com diferentes dinâmicas tecnológicas, características de mercados e participantes. Os tipos de componentes atualmente mais significativos, considerando-se a sua participação no mercado mundial e a perspectiva de crescimento, são os seguintes:

- memórias voláteis DRAM;
- memórias não-voláteis *flash*;
- microprocessadores (MPU);
- microcontroladores (MCU);
- circuitos customizados, incluindo ASIC e SOC;
- analógicos tradicionais (SLIC); e
- sistemas microeletromecânicos (MEM).

Na busca da estratégia ou conjunto de estratégias que maximizasse a relação entre os benefícios almejados e os custos associados à implantação dos novos investimentos, adotou-se uma metodologia que mesclou tipos de produtos com tipos de negócios, dando origem à **lista de estratégias** a seguir:

- 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 MEM.

Observe-se que todas as estratégias listadas referem-se à etapa de fabricação de circuitos integrados (o elo número 3 na Figura 1), uma vez que a análise dos países com presença mais forte nessa indústria demonstra que, em todos os casos, foi a instalação de fábricas de difusão, isto é, a efetiva manufatura do *chip*, que assegurou maturidade industrial ao país. O estudo revelou que, em relação aos

outros elos da cadeia, a fábrica de difusão proporciona maior valor agregado, pois: a) gera mais empregos; b) apresenta maior volume de faturamento; c) oferece maiores margens operacionais; e d) atrai as demais etapas de produção.

As nove estratégias foram avaliadas em oficinas de trabalho a que compareceram especialistas e representantes do governo para: a) ordenar as estratégias em função dos objetivos qualitativos (adensamento da cadeia produtiva, geração de empregos qualificados, aumento da competitividade da indústria e fortalecimento do processo de inovação tecnológica) e quantitativos (diminuição do déficit comercial); e b) ponderar a importância relativa dos objetivos qualitativos e quantitativos. Os benefícios assim avaliados foram confrontados com os custos e os riscos tecnológicos, de demanda e de gestão identificados em cada estratégia, resultando, através de metodologia específica, em dois grupos de estratégias dominantes, o primeiro respondendo melhor aos benefícios quantitativos da análise e o segundo aos efeitos qualitativos, tendo sido estes considerados prioritários. A apresentação desses grupos é feita a seguir:

- **Fabricante de Microprocessadores/Fundição Especializada Líder (Itens 3 e 6, Respectivamente, da Relação de Estratégias)**

Trata-se de segmento com poucas empresas ofertantes, caracterizadas pela produção em altíssimas escalas e por plantas situadas na fronteira da tecnologia microeletrônica. Os investimentos fixos superam US\$ 1 bilhão e, em função da escala, há necessidade de exportações superiores a 70% da capacidade produtiva instalada. Daí o fato de essa estratégia produzir o maior impacto direto no saldo comercial.

É importante observar que em ambas as estratégias a governança da cadeia é compartilhada com o elo de projeto do componente a ser difundido, o qual atualmente está fora do país.

- **Fabricante de Microcontroladores (MCU) e Circuitos Customizados (ASIC e SOC)/Fundição Especializada de Médio Porte/Fabricante de MEM (Itens 5, 7 e 9, Respectivamente, da Relação de Estratégias)**

Esse segmento é representado por grande número de empresas ofertantes, algumas delas dedicadas a setores específicos ou a nichos de mercado. A produção é feita em escalas menores, utilizando tecnologias mais maduras. Os investimentos fixos, por sua vez, são da ordem de algumas centenas de milhões de dólares, havendo a necessidade de exportações de cerca de metade da capacidade produtiva instalada, tendo em vista a escala mínima de produção em relação ao mercado interno. Em comparação com a estratégia do grupo anterior, há menor geração direta de saldo co-

mercial, embora a análise quantitativa realizada pelo estudo do Consórcio tenha se baseado no investimento de uma única planta. Dados os valores mais reduzidos de investimento e o maior efeito de adensamento desse conjunto de estratégias, não deve ser descartada a hipótese de o Brasil reverter o déficit comercial do segmento à medida que o país se torne atrativo para novos investimentos do setor.

A análise da governança da cadeia desses negócios mostra que ela está fortemente ligada ao elo de projeto dos bens finais aos quais os componentes fabricados são incorporados. O Brasil já possui uma grande e variada indústria de bens finais, eletrônicos e não-eletrônicos, a qual é candidata à utilização desses circuitos integrados e pode, com eles, ser estimulada à realização local de novos desenvolvimentos de produtos e aplicações.

Priorização das Estratégias e Análise dos Benefícios e Custos

É importante sinalizar que as estratégias 1, 2, 4 e 8 mencionadas acima, não incluídas em nenhum dos grupos, também constituem alternativas válidas de ingresso do Brasil na fabricação de circuitos integrados.

Sobre as estratégias dominantes, cada conjunto produz externalidades diferentes. Os produtos do primeiro conjunto têm como destino primordial os bens eletrônicos, em particular os de informática, exercendo um forte efeito sobre a balança comercial em função da alta necessidade de exportação para viabilizar o investimento. Entretanto, os efeitos de adensamento da cadeia produtiva que essas estratégias proporcionam são restritos.

Os produtos do segundo conjunto de estratégias dominantes têm aplicações em diversos setores, não somente eletrônicos, sendo fundamentais para a diferenciação e a incorporação de inovações tecnológicas aos bens finais. Entretanto, as menores escalas e necessidades de exportação fazem com que seus efeitos diretos sobre a balança comercial sejam mais modestos que os da primeira categoria. Seus principais efeitos são indiretos, ao permitirem a elevação da competitividade de uma ampla gama de bens finais.

A presença no Brasil de uma indústria complexa e diversificada é capaz de potencializar os efeitos de adensamento, inovação e diferenciação dos produtos que utilizam circuitos integrados desse grupo. Isso porque é exatamente na demanda que se localiza a governança da cadeia nesse conjunto de estratégias (através, por exemplo, da definição das especificações dos circuitos integrados). É importante observar que grande parte dos demandantes globais desses produtos são multinacionais produzindo no país, de que são exemplos as grandes empresas das indústrias automobilística e de teleequipamentos. A atração de fabricantes de circuitos integrados

desse grupo, assim, poderia fomentar o desenvolvimento de projetos de produtos a partir do Brasil.

No que se refere ao balanço de divisas, que inclui, além da balança comercial, os efeitos decorrentes do pagamento de *royalties* e dividendos, os resultados diretos seriam maiores no primeiro grupo de estratégias. Ainda assim, a óbvia razão de não haver hoje uma planta de fabricação de circuitos integrados no Brasil leva à conclusão de que todas as estratégias apresentam um impacto positivo.

O mapeamento das condições do Brasil para competir na atração de uma indústria de circuitos integrados foi orientado por dois balizadores: a) a necessidade de superação de lacunas estruturais; e b) um conjunto de incentivos a serem concedidos para que o país seja selecionado para localização de uma fábrica de circuitos integrados.

O primeiro balizador identifica os requisitos de natureza estrutural – infra-estrutura, logística e recursos humanos – que o Brasil deve atender para ser levado em conta nos estudos de localização realizados pelos fabricantes de circuitos integrados. Basta lembrar, por exemplo, que essa indústria necessita de grande agilidade na entrada de insumos e na exportação de produtos. É importante ressaltar que esse requisito é *eliminatório*, isto é, o seu descumprimento simplesmente desqualifica o país como candidato a entrar numa rodada de negociações com empresas potencialmente interessadas em aqui se instalar.

O segundo balizador, de natureza *classificatória*, complementa os requisitos mínimos de competitividade, oferecendo condições de o país apresentar-se como melhor alternativa, de acordo com a experiência internacional. Note-se que a simples existência de programas, regiões ou regimes incentivados *não garante* a atratividade do Brasil para a instalação de uma atividade tão exigente no que se refere aos requisitos de infra-estrutura, logística e recursos humanos. A correção das lacunas estruturais e a concessão de incentivos, dessa forma, devem ser entendidas como partes de um único conjunto de iniciativas integradas e igualmente necessárias ao sucesso de uma estratégia de atração.

Cabe observar que, apesar de o estudo realizado objetivar a atração de investidores na etapa de fabricação de circuitos integrados, as condições propícias ao investimento que se pretende criar no Brasil são igualmente favoráveis à atração de empresas produtoras de outros componentes eletrônicos ou voltadas para outras etapas de produção, notadamente as dedicadas a projeto e a encapsulamento e testes.

O que Determina a Decisão de Investir

Recomendações para o Brasil Superar suas Lacunas

Com base na avaliação de empresas do setor e na experiência de países bem-sucedidos na atração de fabricantes de circuitos integrados, o estudo identificou as principais condições estruturais para atender às necessidades dos fabricantes, as quais foram reunidas em 10 itens, conforme lista a seguir:

- desembaraço alfandegário rápido e eficiente;
- eficiência da estrutura de importação e exportação;
- infra-estrutura de porto e aeroporto;
- proteção efetiva ao capital intelectual e leis de patente;
- agilidade no registro de propriedade intelectual de topografia de circuito integrado;
- eficiência do processo de pagamento e recebimento de *royalties*;
- fluxo contínuo de formação e capacitação de mão-de-obra de qualidade;
- disponibilidade e confiabilidade dos serviços públicos de água/saneamento, energia e telecomunicações;
- disponibilização de terrenos; e
- concessão de vistos de trabalho a estrangeiros.

Essa relação de itens considerados críticos para o investimento foi obtida por meio de entrevistas com executivos das principais empresas internacionais do setor, refletindo, dessa forma, tanto as percepções de empresários quanto as experiências de diversos países que possuem plantas de fabricação de circuitos integrados. O Brasil posiciona-se favoravelmente em alguns desses itens, cabendo, no entanto, superar as lacunas identificadas nos demais. A análise detalhada da posição do país em cada um dos quesitos, além de um conjunto de soluções propostas para a superação das lacunas, fez parte do estudo e dos documentos finais entregues ao governo, que deverá dar a devida prioridade ao exame das referidas soluções.

Recomendações para o Brasil Ser a Melhor Alternativa

Os balizadores para o Brasil apresentar-se como a melhor alternativa envolvem os incentivos que devem ser concedidos aos fabricantes que vierem se instalar no país. A exemplo das recomendações referentes à superação das lacunas estruturais, esses incentivos estão referenciados na experiência internacional de atração de fabricantes de circuitos integrados. A esse respeito, é importante lembrar que o Brasil já dispõe de diversos mecanismos de incentivo, cabendo, no âmbito de um programa específico para o setor, reuni-

los de forma organizada para comunicação às empresas, o que reforçará a credibilidade da negociação.

É importante assinalar que o pacote de incentivos deverá ser graduado em função das características do investimento, especialmente quanto à tecnologia adotada, aos valores envolvidos e aos benefícios esperados, incluindo seu potencial gerador de externalidades positivas – por exemplo, no que diz respeito ao adensamento da cadeia produtiva, à formação de recursos humanos, à geração de empregos qualificados, ao poder de atração de outras indústrias, à geração de impostos associados, às aplicações em P&D etc. Da mesma forma, a extensão desses incentivos dependerá da apresentação de compromissos e contrapartidas por parte dos fabricantes.

A construção de uma estratégia consistente que contemple a superação das lacunas estruturais para o Brasil entrar no jogo dos investimentos e que lhe permita disputá-los em condições similares às aquelas verificadas na experiência internacional deverá prever a implementação de um plano de ação coordenado que integre diversas frentes de trabalho, as quais deverão ser capazes de atender adequadamente aos potenciais investidores, além de dar celeridade e credibilidade à política do governo. Entretanto, como claramente demonstrado pela análise da experiência dos países bem-sucedidos, é indispensável que essas frentes trabalhem sob uma liderança que sirva de canal único e estruturado de comunicação entre os investidores e todas as esferas do governo.

A realização do estudo de atração de fabricantes de circuitos integrados constituiu um esforço inédito do governo brasileiro. Tratou-se de um trabalho de oito meses de duração que contou com a participação intensa de diferentes ministérios e forte interação. Sua etapa final coincidiu com a indicação da indústria de semicondutores como um setor prioritário na política industrial, tecnológica e de comércio exterior do governo federal. Esse fato sugere que a determinação do Brasil de mudar o panorama de sua indústria insere-se em uma política de Estado, devendo contar com estabilidade de decisão e profissionalismo na implementação.

A entrada do país na fabricação de circuitos integrados constituirá um passo importante no sentido de assegurar o enraizamento da indústria eletrônica, pois, como descrito anteriormente, o Brasil é uma das poucas grandes economias a não possuir uma planta de fabricação de circuitos integrados. Essa ausência, conjugada com a fragilidade da produção local de outros componentes, tende a perpetuar a característica de simples montador de bens finais que define o complexo eletrônico no país, o que tem impactos altamente negativos na balança comercial, na geração de inovações na

Conclusão

indústria como um todo, no adensamento da cadeia produtiva do complexo eletrônico, na competitividade de diversos outros setores e na capacidade de o país formar e reter recursos humanos qualificados em áreas fundamentais do conhecimento tecnológico.

A experiência internacional demonstra que os países em que hoje estão situadas fábricas de circuitos integrados empreenderam esforços ativos de atração, através de programas de governo agressivos com benefícios fiscais e incentivos financeiros variados. Isso porque os governos consideram essa indústria estratégica, e não somente por questões de natureza econômica relativas ao domínio sobre a cadeia eletrônica.

A análise econômica de um investimento em fabricação de circuitos integrados, por seu turno, mostra que as restrições de natureza fiscal enfrentadas pelo Brasil e os elevados valores envolvidos exigem que um programa de atração dessa indústria esteja amplamente fundamentado no cálculo dos benefícios esperados. Essa orientação foi seguida no estudo realizado, o qual avaliou os benefícios quantitativos e qualitativos esperados para cada uma das nove estratégias identificadas como viáveis para o ingresso do Brasil no grupo de países fabricantes de circuitos integrados.

Em termos quantitativos, verifica-se que todas as nove estratégias apresentam resultados positivos em seus balanços de divisas, motivados pelo fato de não se fabricarem circuitos integrados no Brasil. Se, por um lado, as estratégias correspondentes às grandes líderes mundiais em microprocessadores e fundições de maior porte proporcionam o maior impacto positivo sobre a balança comercial, o menor custo fiscal, por outro lado, é produzido pelas estratégias de empresas médias, representadas pelas fundições e fabricantes de microcontroladores, circuitos integrados customizados e MEM.

O estudo também deixou claro que um conjunto ainda maior de benefícios qualitativos seria obtido com a atração de uma fábrica de circuitos integrados. O efeito mais importante consiste no adensamento da cadeia produtiva do complexo eletrônico e no incentivo à diferenciação e à incorporação de inovações tecnológicas aos bens finais nos diversos setores demandantes de circuitos integrados. Tal efeito tem o poder de conferir maior competitividade internacional aos produtos finais, sejam eles eletrônicos ou não, além de contribuir para a geração de empregos qualificados no país. Embora todas as nove estratégias estudadas contribuam para a obtenção desses benefícios qualitativos, são as estratégias de empresas médias e de MEM que os maximizam.

A avaliação final, que naturalmente conduz a uma priorização de estratégias e, portanto, de empresas, para dar início ao processo de atração de investidores internacionais, não se esgota com esse passo. O estudo revelou que, para qualquer estratégia

adotada, a fim de conferir sustentabilidade ao processo de fixação da cadeia eletrônica no Brasil, faz-se necessária a existência não apenas de um mas de vários empreendimentos nessa indústria.

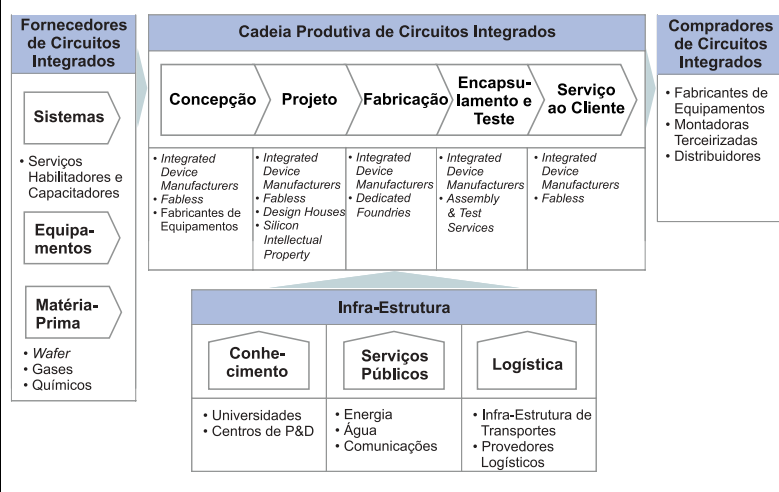
Dessa forma, apesar de o estudo ter por objetivo específico a atração de investidores internacionais para a implantação de uma planta de fabricação de circuitos integrados, tornou-se claro que a meta de longo prazo dessa iniciativa deve ser a criação de um ecossistema no país que integre toda a cadeia eletrônica e os respectivos fornecedores. Assim, deve ser planejada a existência de um complexo formado por empresas que atuem em todos os elos produtivos de circuitos integrados – projeto, fabricação e encapsulamento e testes – e também de outros componentes eletrônicos, dentre eles os semicondutores discretos. Interligada à indústria de componentes deve estar também a indústria de bens finais consumidora de circuitos integrados, que a realimenta por novas demandas de produtos, geradas principalmente por suas próprias atividades de projeto. Por fim, suprindo toda essa cadeia, deve existir uma rede de fornecedores de insumos, bastante específicos no caso da fabricação de semicondutores e outros componentes, e de infra-estrutura.

O diagnóstico elaborado durante o estudo revelou que a indústria de circuitos integrados, os componentes eletrônicos mais sofisticados e críticos do ponto de vista da fabricação, tem fortes requisitos de infra-estrutura, em qualidade e quantidade. É importante citar a necessária disponibilidade de água, energia elétrica e transporte, além de portos e aeroportos.

Além disso, a principal exigência de uma empresa de circuitos integrados, seja qual for sua forma de atuação ou tipo de negócio, prende-se à disponibilidade de mão-de-obra qualificada, embora com distintas capacitações. Isso permite concluir a necessária

Figura 2

Ecossistema Microeletrônico



integração ao ecossistema de uma estrutura de formação específica em microeletrônica.

A esse respeito, é necessário desenvolver uma política de longo prazo de P&D que articule os vários órgãos de governo, dotando-os de recursos estáveis e de mecanismos de gestão adequados. Da mesma forma, um modelo verdadeiramente integrado com o ambiente de negócios deverá levar em conta as vantagens comparativas do Brasil e a articulação das iniciativas de P&D e formação de recursos humanos na área de microeletrônica.

Embora o estudo tenha por objetivo a atração de investidores na etapa de fabricação de circuitos integrados (*front-end*), as condições propícias ao investimento que se pretende criar no Brasil são igualmente favoráveis à atração de investimentos por outro tipo de empresas ou voltadas para outras etapas de produção, notadamente as dedicadas a projeto e a encapsulamento e testes.

A presença de um fabricante internacional na instalação de uma planta de circuitos integrados no Brasil, imprescindível enquanto forma de alcançar o mercado global através de uma marca conhecida, constitui também um importante passo na transferência de uma tecnologia – de fabricação de circuitos integrados – que, hoje, não existe no país. Entretanto, para que esse processo se torne fecundo, faz-se necessária a existência de pelo menos um centro de pesquisa integrado ao ecossistema que seja um centro de referência na geração de conhecimento e no suporte à indústria.

Em resumo, a implantação de uma fábrica de circuitos integrados no Brasil deve ser vista como a primeira etapa de uma política setorial para todo o complexo eletrônico em que política industrial e política tecnológica caminhem juntas e em sinergia. Uma avaliação da situação brasileira permite verificar a existência de algumas iniciativas em projeto de circuitos integrados e em prototipagem, realizadas principalmente pela Motorola e pelo MCT, este último através de seu Programa Nacional de Microeletrônica (PNM), o qual compreende também o apoio ao Centro de Excelência em Tecnologia Eletrônica Avançada (Ceitec). São encontrados também alguns empreendimentos industriais que merecem citação, como a planta de encapsulamento de memórias da Itautec Philco e as unidades de difusão de semicondutores discretos da Aegis e da Semikron, ações que devem ser vistas como complementares à proposição do estudo ora apresentado, pois representam partes importantes no contexto de um ecossistema.

Um grande número de atores deverá, obrigatoriamente, ser envolvido na implementação do processo de investimento em fabricação de circuitos integrados. Ao governo federal – e também às instâncias estadual e municipal –, à iniciativa privada e à academia cabem papéis definidos, todos eles relevantes, que precisam ser exercidos de forma coordenada e amparada por uma decisão de Estado, consubstanciada em um arcabouço legal próprio.