

Produção científica e sistema nacional de inovação

*Eduardo da Motta e Albuquerque**

Este artigo discute a relação entre a infra-estrutura científica e o sistema de inovação brasileiro. Na periferia, sugere-se que a infra-estrutura científica possa ter um papel de "antena" em relação aos fluxos internacionais de informações científicas e tecnológicas, contribuindo para focalizar processos de busca e para construir uma capacidade interna de absorção de tecnologia estrangeira.

Para introduzir a discussão do caso brasileiro, é utilizado o conceito de sistema nacional de inovação (FREEMAN, 1988; NELSON, ed., 1993). Porém, para viabilizar um aproveitamento adequado desse conceito para os países em desenvolvimento, uma "tipologia" rudimentar e tentativa é sugerida. À luz dessa tipologia e utilizando dados para uma amostra de 46 países, é realizada uma avaliação do desempenho dos sistemas de inovação imaturos na relação gastos em P&D/produção científica. Para averiguar o grau de utilidade da infra-estrutura científica para o processo industrial e tecnológico, um indicador é proposto: o **indicador de aproveitamento de oportunidades** (IAO). Esse indicador (calculado para os 46 países da amostra) será utilizado para avaliar as categorias de sistemas de inovação.

Uma vez avaliado o desempenho agregado do setor científico dos sistemas "imaturos" (categoria que inclui o Brasil), a discussão volta-se para o nível das disciplinas científicas, buscando investigar a especialização científica brasileira.

Essa especialização é a referência básica para a discussão de possíveis aproveitamentos de recursos científicos disponíveis na indústria brasileira. A discussão sobre o inter-relacionamento entre a ciência e as atividades produtivas no País é baseada em três importantes estudos diretamente relacionados ao tema: os trabalhos coordenados por Schwartzman (199^o), Coutinho, Ferraz (1994) e Biato (1992).

Este artigo está dividido em seis seções. Na próxima, é apresentada a tipologia "tentativa" de sistemas de inovação e sugerido o papel da ciência como

* Professor do CEDEPLAR da UFMG.

um pressuposto de processos de *catching up*. Na seção 2, é investigada a relação entre gastos em P&D e produção de artigos científicos. Na seção 3, é proposto e calculado um **indicador de aproveitamento de oportunidades**. Na seção 4, é analisada a especialização científica brasileira. Na seção 5, é examinada a relação entre ciência, indústria e aproveitamento de oportunidade, sendo discutida de forma mais detalhada para três disciplinas escolhidas (computação, microeletrônica e biotecnologia). A seção 6 conclui o artigo.

1 - Sistemas nacionais de inovação e o papel da ciência em um país periférico

Esta seção discute o papel que a ciência pode desempenhar em um país periférico, especialmente como um fator que contribua para o sucesso de um processo de *catching up*. Para organizar essa discussão, o conceito de sistema nacional de inovação é apresentado a partir da sugestão de uma tipologia tentativa para países em desenvolvimento. A partir da demarcação entre sistemas “maduros” e “imaturos”, a especificidade do papel da ciência na periferia pode ser avaliada.

Sistema nacional de inovação é uma construção institucional, seja produto de uma ação planejada e consciente, seja de um somatório de decisões não planejadas e desarticuladas, que impulsiona o progresso tecnológico em economias capitalistas complexas (FREEMAN, 1988; NELSON, ed., 1993). Através da construção desse sistema de inovação, viabiliza-se a realização de fluxos de informação necessários ao processo de inovação tecnológica. Esses arranjos institucionais envolvem firmas, redes de interação entre empresas, agências governamentais, universidades, institutos de pesquisa, laboratórios de empresas e atividades de cientistas e engenheiros. Arranjos institucionais que se articulam com o sistema educacional, com o setor industrial e empresarial e, também, com as instituições financeiras, completando o circuito dos agentes que são responsáveis pela geração, implementação e difusão das inovações.

A aplicação do conceito de sistema nacional de inovação para países não desenvolvidos pressupõe uma série de mediações. Avaliando especificamente o caso brasileiro, o caráter “imaturado” do seu sistema de inovação pode ser sugerido (ALBUQUERQUE, 1996).

A literatura de economia da tecnologia enriquece a discussão das especificidades de sistemas de inovação. Freeman (1995) apresenta argumentos e evidências para quatro tipos diferentes de sistemas de inovação, ao comparar as principais características do sistema de inovação do Japão com as da antiga

União Soviética e as características dos países da América Latina com as da Ásia Oriental. Bell e Pavitt (1993) inicialmente descrevem as principais diferenças entre a capacitação tecnológica de países desenvolvidos e a de países em desenvolvimento para, posteriormente, subdividi-los entre os casos da Ásia Oriental (Coréia e Taiwan) e da América Latina.

A revisão da literatura, envolvendo as concepções teóricas (FREEMAN, 1987, 1988, 1995; BELL, PAVITT, 1993) e as análises comparativas (NELSON, ed., 1993; PATEL, PAVITT, 1994; PAVITT, 1997a; RADOSEVIC, 1997), fornece elementos para uma tipologia rudimentar dos sistemas de inovação.¹

Essa tipologia tentativa tem uma linha divisória clara: os sistemas de inovação de países de *catching up*.² Coréia, Taiwan e Cingapura constituem exemplos dessa categoria.

Acima dessa categoria, estão os sistemas de inovação "maduros".³ Países como Estados Unidos, Japão, Alemanha, Suécia e Holanda enquadram-se nessa categoria.

Abaixo do *catching up*, um conjunto de categorias "não maduras", onde três subdivisões podem ser sugeridas. Em primeiro lugar, Brasil, México, Índia, e África do Sul podem ser agrupados em uma categoria de países com sistemas de ciência e tecnologia constituídos. Esses países possuem uma certa infra-estrutura de ciência e tecnologia, que pode ser avaliada como pouco eficaz. Essa categoria poderia ser denominada de "países com uma infra-estrutura de ciência e tecnologia pouco eficaz" (PICTPE, doravante). Em segundo lugar, há a categoria dos países do Leste Europeu, que compartilham características comuns do passado "socialista" e a presente transição para uma economia de mercado. Compõem essa categoria países como Rússia, Polônia, Hungria, Bulgária, etc. Essa categoria pode ser denominada de países do Leste Europeu" (LESTEU, doravante). Em terceiro lugar, países do Sudeste Asiático (Tailândia, Malásia, Indonésia e Filipinas) compartilham uma realidade de crescimento recente que sugere uma categoria comum. Essa categoria pode ser denominada de "países do Sudeste Asiático" (SUDASI, doravante).

¹ Para uma apresentação inicial dessa tipologia para países em desenvolvimento, ver Albuquerque (1997a). Seu trabalho inclui uma explicação mais detalhada da base conceitual que fundamenta as categorias propostas, assim como dados que as apóiam.

² Para uma discussão das precondições tecnológicas para processos de *catching up*, ver Albuquerque (1997).

³ Patel e Pavitt (1994) sugerem subdivisões entre os países desenvolvidos.

Finalmente, um subconjunto de países com sistemas de inovação “inexistentes” pode ser sugerido, envolvendo países como a Turquia, países da região do Sub-Sahara, Afeganistão, etc. Seriam países que não possuem sequer o “começo” de um sistema de inovação. Essa categoria serve para delimitar o caráter intermediário do conjunto dos sistemas de inovação “imaturos”.

À luz dessa “tipologia”, a questão da contribuição da ciência em países periféricos pode ser recolocada. Inicialmente, é necessário averiguar o papel da ciência nos sistemas de inovação “maduros”. Há uma extensiva literatura discutindo o inter-relacionamento complexo e multifacetado entre a ciência e a tecnologia (ROSENBERG, 1976; PAVITT, 1991; DASGUPTA, DAVID, 1994; STEPHAN, 1996). Nelson e Rosenberg (1993) resumizam essa relação definindo a ciência como *follower and leader* e indicando o peso crescente da ciência para o crescimento econômico moderno.

Um *survey* dessa literatura indica pelo menos cinco grandes contribuições da ciência para a inovação tecnológica em países desenvolvidos: (a) fonte de oportunidades tecnológicas; (b) fonte de pesquisadores qualificados para os laboratórios de P&D das empresas; (c) aperfeiçoamento de técnicas de pesquisa; (d) desenvolvimento de instrumentos científicos e (e) fonte de conhecimento tácito.

Para os países em desenvolvimento, há importantes diferenças em relação ao papel da ciência. Adotando como referência processos de *catching up*, antes e durante esse processo há um inter-relacionamento dinâmico entre ciência e tecnologia, mas com importantes especificidades, a começar, evidentemente, pelos constrangimentos orçamentários mais rigorosos, que são típicos dos países em desenvolvimento.

A ciência pode desempenhar, nos processos de *catching up*, o papel de “antena”. Inspirada na discussão de Rosenberg (1976), a ciência pode desempenhar o papel de um “instrumento para focalizar a direção do progresso tecnológico” (*focusing device*). Ciência na periferia pode ter o papel de “antena” para a criação de vínculos com as fontes internacionais de tecnologia.

Em nível teórico, o conhecimento gerado pela infra-estrutura científica de países em desenvolvimento pode oferecer o “conhecimento para focalizar a busca” (NELSON, 1982). Ao invés de se constituir em uma fonte de “oportunidades tecnológicas” como nos sistemas maduros, na periferia a infra-estrutura científica contribui para identificar corretamente oportunidades geradas internacionalmente.

Em nível empírico, a utilização dos recursos científicos como uma fonte de direcionamento do processo de absorção de conhecimento tecnológico

internacional pode ser encontrada no caso japonês (FREEMAN, 1987), que pode ser considerado como um paradigma para processos *catching up*.

Em outras palavras, o papel da ciência na periferia é o de conectar o sistema nacional de inovação (ainda imaturo) aos fluxos tecnológicos e científicos internacionais. A emergência de uma economia baseada no conhecimento (FORAY, LUNDVALL, 1996), em um mundo mais interconectado, apenas amplia a importância de tal contribuição para o desenvolvimento da capacidade de absorção de tecnologia estrangeira, fundamental para o sucesso do *catching up*.

Outras contribuições específicas da ciência de países em desenvolvimento, descritas na literatura, são a participação em processos locais de acumulação tecnológica (BELL, PAVITT, 1993) e no fornecimento de um mínimo de informação científica pública para o aproveitamento de "janelas de oportunidade" (PEREZ, SOETE, 1988).

No contexto periférico, são minimizadas outras contribuições importantes da ciência à tecnologia encontradas nos países desenvolvidos: (a) o desenvolvimento de técnicas de pesquisa pode ser substituído pelo treinamento em universidades estrangeiras; (b) o desenvolvimento de instrumentos científicos pode ser substituído pela sua importação; e (c) o treinamento de pesquisadores, em certas áreas, pode ser substituído por programas de pós-graduação no Exterior.

Em suma, o papel da ciência na periferia não se enquadra nos modelos tradicionais. O inter-relacionamento entre a ciência e a tecnologia na periferia indica que, desde o início de um processo de *catching up*, são necessários investimentos na infra-estrutura científica. Como um *focusing device*, a infra-estrutura científica deve ter a capacidade de apontar avenidas de desenvolvimento tecnológico que são viáveis para as condições concretas do país retardatário, dadas as condições internacionais e o acúmulo nacional prévio. No mínimo, a comunidade científica pode contribuir para evitar percursos fadados de antemão ao insucesso. A existência de uma infra-estrutura científica contribui para evitar a "busca desinformada" (*blind search*), sempre custosa (NELSON, 1982).

O papel da ciência na periferia sugerido aqui considera que a ciência não é uma consequência "natural" do desenvolvimento industrial e tecnológico. Ao contrário, a ciência constitui-se em um dos pré-requisitos desse processo. Ao longo do processo de desenvolvimento, a ciência dinamicamente muda e atualiza o seu papel e a sua inter-relação com a tecnologia. A seu modo, na periferia a ciência também deve ser *follower and leader* no sistema de inovação em amadurecimento.

2 - P&D, artigos científicos e as categorias da tipologia de sistemas de inovação

Esta seção avalia a relação entre gastos em P&D e produção científica, uma forma de introduzir a discussão sobre a eficiência relativa das várias categorias da tipologia de sistemas de inovação de 46 países, agrupados de acordo com as mesmas.⁴

A literatura relata estudos que testam o relacionamento entre P&D e produção científica (TEITEL, 1994). A *proxy* para a avaliação da produção científica é o *Science Citation Index* (SCI), computado pelo Institute for Scientific Information (ISI).

Cada categoria da tipologia deve apresentar diferentes características na relação entre o insumo P&D e o produto artigos científicos. Em linhas gerais, as principais diferenças seriam as seguintes:

- sistemas "maduros" devem ter o melhor desempenho na relação P&D/ artigos, porque (a) têm a infra-estrutura mais desenvolvida; e (b) porque são mais fortes os efeitos da forte base industrial e tecnológica sobre a ciência (tecnologia criando demandas para o esforço científico e a ciência como *follower*;
- sistemas de inovação para *catching up* têm a pressão de um sistema tecnológico em evolução sobre a sua base científica. Nos processos de *catching up*, a infra-estrutura científica deve estar contribuindo para a capacidade de absorção do país, que pressupõe um bom aproveitamento dos fluxos científicos e tecnológicos internacionais. Essas características contribuem para um bom desempenho na relação P&D/artigos. Essa categoria deve ter uma performance similar aos sistemas "maduros";
- sistemas imaturos tipo PICTPE possuem uma infra-estrutura científica, mas ela é limitada e desigual. Apenas algumas disciplinas alcançam padrões internacionais e se encontram bem conectadas com a

⁴ Os 46 países da amostra estão distribuídos da seguinte forma: (a) sistemas "maduros" — Estados Unidos, Japão, Alemanha, Bélgica, Dinamarca, França, Itália, Holanda, Reino Unido, Áustria, Suíça, Suécia, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, Israel, Irlanda, Finlândia, Islândia, Noruega; (b) sistemas *catching up* — Coreia, Taiwan, Cingapura (apenas para 1992); (c) sistemas "imaturos" PICTPE — Brasil, México, Argentina, Venezuela, Chile, Índia, África do Sul, Grécia, Espanha, Portugal (Coreia, Taiwan e Cingapura para 1981); (d) sistemas "imaturos" LESTEU — Rússia, Bulgária, antiga Tchecoslováquia, Hungria, Polônia e Romênia; (e) sistemas "imaturos" SUDASI: Indonésia, Malásia, Filipinas e Tailândia; (f) outros — Turquia, China e Paquistão.

comunidade científica internacional. A principal debilidade é a fraca interação com a base industrial e tecnológica. Constrangimentos orçamentários ameaçam a estabilidade de grupos de pesquisa e podem afetar o processo científico. Há uma combinação entre escassez e desperdício no uso de recursos para a ciência. Portanto, essa categoria deve alcançar um desempenho mais baixo na relação P&D/*papers*;

- sistemas imaturos LESTEUS herdaram dos antigos regimes "socialistas" uma forte infra-estrutura científica. Para a presente discussão, a diferença relevante com relação aos sistemas maduros está na ausência de *feedbacks* entre a estrutura científica e, por um lado, a base industrial e tecnológica e, por outro, as instituições de ensino superior (PAVITT, 1997a). Portanto, segundo os dados de 1981, essa categoria teve um desempenho similar aos sistemas maduros. Em 1992, porém, a situação mudou, graças a uma importante redução de gastos em P&D. A pergunta aqui é sobre a relação entre o encolhimento do insumo (P&D) e do produto (artigos): terão sido proporcionais?
- sistemas imaturos SUDASI têm a menor infra-estrutura científica da amostra. Dado o pequeno investimento no setor, o desempenho esperado é fraco.

A hipótese desta seção, portanto, sugere um *ranking* no desempenho P&D/artigos científicos. Para testar essa hipótese, um pequeno exercício estatístico é executado. Para verificar a diferença de desempenhos, são utilizadas variáveis *dummy* (GREENE, 1993). Elas são um mecanismo para testar a significância estatística de diferenças no intercepto e/ou na inclinação da curva relacionando P&D/artigos científicos.

Por analogia a exercícios que verificam a relação P&D/patentes (ALBUQUERQUE, 1997a), a equação da regressão a ser testada envolve a forma funcional *double log*.

A equação da regressão é a seguinte:

$$\log(\text{artigos}) = C + (D1 + D2 + D3 + D4 + 1)\log(\text{P\&D})$$

onde

$\log(\text{artigos})$ = logaritmo da participação do país na produção científica mundial,

$\log(\text{P\&D})$ = logaritmo dos gastos em P&D do país (em milhões de ECUs);

C = coeficiente de intercepto,

D1 = 1, se sistema de inovação "imaturado" PICTPE,

D1 = 0, caso sistema não PICTPE,

D2 = 1, se sistema de inovação "imaturado" LESTEUS,

D2 = 0, caso sistema não LESTEUS,

D3 = 1, se sistema de inovação "imaturado" SUDASI;

D3 = 0, caso sistema não SUDASI;

D4 = 1, se Outros;

D4 = 0, caso sistema não Outros.

A Tabela 1 apresenta os resultados.

Tabela 1

Log P&D X Log Artigos, resultados da regressão — 1981 e 1992

VARIÁVEIS	1981		1992	
C	-2,420	(-11,390)	-2,665	(-10,795)
Log(R&D)	0,787	(12,170)	0,806	(11,535)
D1	-0,151	(-3,797)	-0,039	(1)(-2,128)
D2	-0,027	(1)(-0,587)	-0,078	(1)(-1,207)
D3	-0,453	(-6,266)	-0,199	(2)(-2,052)
D4	-0,343	(-6,014)	-0,221	(-4,712)
Desvio padrão da regressão	0,304		0,272	
Número de observações	46		43	
R2	0,873		0,844	
R2 ajustado	0,857		0,823	

FONTE: SCIENCE and technology report (1994). Brussels: European Commission.
SCIENTOMETRICS (1987?). Amsterdam: Elsevier Scientific.

(1) Não significativo. (2) Significativos a 5%.

NOTA: Os números entre parênteses informam estatística *t* (os coeficientes são estatisticamente significativos ao nível de 1%).

Para avaliar se os valores de R2 encontrados na Tabela 1 se devem a outros fatores, as variáveis (P&D e artigos) foram normalizadas pela população dos países. Os resultados foram similares, e as variáveis (incluindo as variáveis *dummy*) também são estatisticamente significativas.

Analisando os resultados, encontra-se uma diferença importante entre os dados de 1981 e os de 1992.

Para 1981, o *ranking* sugerido foi encontrado: os sistemas maduros tiveram o melhor desempenho, os sistemas imaturos LESTEU obtiveram uma performance similar (a *dummy* não é estatisticamente significativa), os sistemas imaturos PICTPE apresentaram um desempenho inferior ao dos dois anteriores, e os sistemas SUDASI registraram o desempenho mais baixo entre os sistemas imaturos.

Entretanto, em 1992, os resultados não foram tão claros. Dentre os sistemas imaturos, apenas os SUDASI tiveram a variável *dummy* estatisticamente significativa (em nível de 5%).

No caso dos sistemas LESTEU, apesar dos efeitos da “transição para o mercado”, o desempenho continua similar ao dos sistemas maduros. Duas

explicações podem estar por trás desse resultado: (a) os dados podem estar expressando, ainda, as características do sistema pré-transição; e (b) o encolhimento dos recursos para a atividade científica (P&D) pode ter ocorrido de forma proporcional ao de seu produto (artigos).

No caso dos sistemas PICTPE, os resultados indicaram uma melhora no seu desempenho, expressa por uma aproximação do padrão de "eficiência" P&D/artigos dos sistemas maduros. Porém é necessário ter em conta uma característica dos sistemas imaturos tipo PICTPE: a parcela de recursos alocada para a infra-estrutura pública é relativamente superior à dos sistemas maduros, dada a pequena participação do setor privado (e das pesquisas voltadas para objetivos diretamente tecnológicos). Nos países PICTPE, cerca de 70% a 80% dos recursos nacionais de P&D são destinados à infra-estrutura pública, em contraste com 30% a 50% encontrados no caso dos sistemas maduros (NELSON, ed., 1993). Essas diferentes distribuições podem estar afetando os resultados encontrados.⁵

Os resultados desta seção contribuem para localizar o caso brasileiro. Em termos agregados, a categoria de sistemas imaturos, na qual o Brasil se classifica, tem melhorado o seu desempenho. No caso brasileiro, a produção científica medida pela participação no total mundial de artigos publicados tem crescido. Schott (1993), utilizando o ISI, revela um crescimento de 0,21% em 1973 para 0,35% em 1986. A European Commission (SCIENCE..., 1994) relata que, em 1993, essa participação alcançou 0,6%. Czapski (1997), utilizando um banco de dados ligeiramente diferente do ISI (ele inclui a produção da área de ciências sociais, por exemplo), informa um crescimento de 0,44% em 1981 para 0,82% em 1995.

3 - Um "indicador de aproveitamento de oportunidades": investigando a infra-estrutura científica

Uma vez avaliado o desempenho específico do setor científico, é necessário investigar como o conjunto do sistema produtivo está utilizando o produto final dessa atividade. Para uma avaliação geral da relação entre a atividade científica e a atividade tecnológica, esta seção sugere um indicador: o **indicador de aproveitamento de oportunidades**.

⁵ Essas observações se mantêm para os sistemas imaturos LESTEU

Esse indicador é construído a partir de duas *proxies*. A primeira é a participação relativa do país no total mundial de artigos: representa, como avaliado na seção 2, uma *proxy* das atividades científicas do país. A segunda é a participação relativa no total de patentes concedidas pelo United States Patent and Trademark Office (USPTO): uma *proxy* das atividades tecnológicas executadas pelo país em questão. Ambas as *proxies* têm problemas, mas contêm valiosas informações. Para artigos, ver Velho (1987) e para patentes ver Griliches, 1990.

O IAO é calculado dividindo-se a participação relativa no total de patentes concedidas pelo USPTO pela participação relativa no total mundial de artigos científicos.⁶

Qual o significado do IAO? Dada a complexidade da relação entre ciência e tecnologia, a comparação entre as duas participações relativas deve apresentar indícios da qualidade da interação entre elas. A avaliação da interação entre a ciência e a tecnologia é um aspecto importante da avaliação dos sistemas de inovação. A suposição básica, derivada da fundamentação teórica dos sistemas nacionais de inovação, é a de que firmas, universidades e centros de pesquisa devam ter um grau razoável de interação. Caso haja um fosso grande entre essas instituições constitutivas do sistema de inovação, isso deve se refletir em um baixo nível de interconectividade do sistema. O IAO pode contribuir para oferecer pistas sobre a qualidade dessas conexões.

Em relação às categorias da tipologia de sistemas de inovação, é razoável supor uma ordenação para os valores do IAO, como:

- a) os sistemas maduros devem ter participações relativamente balanceadas e, portanto, uma boa interação entre elas — IAO acima da média da amostra de 46 países;
- b) os sistemas “imaturos”, em seu conjunto, devem ter participações não balanceadas, com um peso maior para a atividade científica em relação à tecnológica, refletindo problemas alocativos e indicando desperdício de recursos — IAO com valores inferiores à média da amostra;

⁶ Sendo o **indicador de aproveitamento de oportunidades** o resultado de uma divisão entre duas participações relativas (percentual de patentes mundiais/percentual de artigos mundiais), seguramente ele carrega todos os problemas metodológicos e estatísticos discutidos na literatura sobre patentes e artigos. Alguns problemas devem ser, inclusive, ampliados, pela forma como o indicador é composto. Esses problemas recomendam cautela na apreciação dos resultados obtidos.

c) os sistemas *catching up* devem estar absorvendo intensamente tecnologia estrangeira, a infra-estrutura científica deve estar atuando como *focusing devices*: valores de IAO superiores à média da amostra.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos cálculos dos valores do IAO para os 46 países da amostra, organizados de acordo com as categorias da "tipologia" dos sistemas de inovação.

Tabela 2

Indicador de aproveitamento de oportunidades, (média, desvio padrão e coeficiente de variação) segundo as categorias dos sistemas de inovação — 1981 e 1992

ANOS E CATEGORIA	NÚMERO DE OBSERVAÇÕES	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
1981				
Geral	45	0,351	0,473	1,347
Maduros	20	0,441	0,553	1,255
Imaturos PICTPE	13	0,221	0,322	1,451
Imaturos LESTEU	5	0,059	0,082	1,401
Imaturos SUDASI	4	0,187	0,206	1,102
1992				
Geral	45	0,386	0,565	1,463
Maduros	19	0,418	0,617	1,477
<i>Catching up</i>	3	0,641	0,697	1,087
Imaturos PICTPE	10	0,070	0,080	1,141
Imaturos LESTEU	5	0,079	0,107	1,346
Imaturos SUDASI	4	0,336	0,398	1,183

FONTE: National Science Foundation (1996), Banco de Dados do SPRU, elaboração própria. SCIENCE and technology report (1994). Brussels: European Commission. SCIENTOMETRICS (1987?). Amsterdam: Elsevier Scientific.

A Tabela 2 apresenta resultados compatíveis com as conjecturas apresentadas. Como sugerido, ao se tomar a média geral como referência, é possível distinguir dois grupos principais: (a) acima da média geral encontram-se os sistemas maduros (1981 e 1992) e os sistemas de *catching up* (1992); e (b) abaixo da média geral, todos os sistemas "imaturos". É interessante observar que, em 1992, os sistemas de *catching up* obtiveram a média mais elevada.

Para o tema deste artigo, o ponto importante na avaliação do "indicador de aproveitamento de oportunidades é a posição do subconjunto, no interior do qual está localizado o caso brasileiro. Os sistemas imaturos PICTPE (ao lado do conjunto dos sistemas imaturos, aliás) apresentam indícios de desperdício de oportunidades. Em termos agregados, o conjunto da infra-estrutura científica parece estar gerando informações e conhecimento não utilizados de forma apropriada pelo setor industrial e tecnológico.

4 - A especialização científica brasileira

Analisada a situação em um nível mais agregado, é possível que se investigue a situação em nível das diferentes disciplinas (e subdisciplinas).

Schott (1993) apresenta em seu estudo dados desagregados, mostrando uma razão entre duas porcentagens: (a) a porcentagem dos artigos de uma determinada disciplina sobre o total de artigos publicados no Brasil; e (b) a porcentagem dos artigos mundiais da disciplina em relação ao total dos artigos mundiais de todas as disciplinas. O valor encontrado nesse cálculo constitui o **índice de especialização científica**. A análise desses **índices de especialização científica**, para as várias disciplinas, informa sobre a "especialização" da ciência de um país, áreas onde um determinado país concentra seus esforços científicos.

Tabela 3

Especialização da ciência brasileira, segundo o índice de especialização científica, em oito disciplinas — anos 70 e 80

DISCIPLINA	ANOS 70	ANOS 80
Medicina Clínica	0,70	0,58
Biomedicina	1,33	1,03
Biologia	1,39	1,60
Química	0,72	0,74
Física	1,60	1,82
Ciências da Terra e Espacial ..	1,08	1,24
Engenharia	0,44	0,63
Matemática	1,49	1,58

FONTE: SCHOTT, T. (1993). Performance, specialization and international integration of science in Brazil changes and comparisons with other Latin America and Israel. In: SCHWARTZMAN, S. **Ciência e Tecnologia no Brasil**: uma nova política para um mundo global. São Paulo: FGV/EAESP. (Ciência e Tecnologia no Brasil). p. 37-38.

NOTA: 1. O **índice de especialização científica** é igual à razão A/B, segundo Schott.
 2. O significado das variáveis é o seguinte: (a) a porcentagem dos artigos de uma determinada disciplina sobre o total de artigos publicados no Brasil, e (b) a porcentagem dos artigos mundiais da disciplina em relação ao total dos artigos mundiais de todas as disciplinas.

Para Schott (1993, p.34), "(...) os esforços nacionais de pesquisa não estão igualmente distribuídos entre os campos científicos, mas mais ou menos concentrados em campos selecionados. A seleção de focos de atenção em um país molda uma especialização nacional". A especialização em um determinado campo é alta quando o **índice de especialização científica** excede a 1,00 e é baixa quando é menor que 1,00 (ver Tabela 3).

A partir desses critérios, Schott encontrou que o Brasil enfatiza suas pesquisas para as disciplinas de Biologia, Física e Matemática (respectivamente, com os **índices de especialização científica** 1,6, 1,82 e 1,58). Já nas disciplinas de Biomedicina e Ciências da Terra e do Espaço, o Brasil cultivou-as na mesma proporção implementada, em média, no Mundo.

Dessa forma, Schott (1993) identifica a especialização nacional nas disciplinas de Física, Biologia e Matemática.

Identificada a especialização, cabe perguntar sobre o nível dessas disciplinas em relação à comunidade internacional. Uma referência indicativa de que uma determinada disciplina estaria sendo praticada segundo o "padrão norte-americano" deveria, no mínimo, alcançar o **índice de especialização científica** de 1,77 (ver Tabela 3).⁷

Para analisar as diversas disciplinas e subdisciplinas, segundo a classificação de Schott (1993, p. 35-38), propõem-se, aqui, duas categorias: (a) nível internacional já alcançado para aqueles que ultrapassaram o índice 1,77; e (b) próximos do nível internacional para os que ultrapassaram o índice 1,5 e não chegaram a 1,77. Considera-se aqui que todas as disciplinas que estiveram nessas duas categorias alcançaram um padrão de eficiência compatível com o "padrão norte-americano".

Nessa categorização, a Física alcançou um padrão internacional, e a Biologia e a Matemática estão próximas de tal padrão.⁸

Quanto às subdisciplinas da Física, apresentaram nível internacional a "Física do Estado Sólido (4,0); a Física Geral (1,8); a Física nuclear e das partículas" (2,9) e "Outros ramos da Física" (3,0).

Na Biologia, alcançaram o nível internacional a Biologia Geral (2,4); a Entomologia (1,8); a Zoologia — diversos (3,1); e a Botânica (2,1); enquanto, na Matemática, a "Matemática Geral" (1,8) e "Outros ramos da Matemática" (2,5).

⁷ Esse valor foi encontrado através de um cálculo simples, a partir dos dados apresentados por Schott (1993). Quando o **índice de especialização** em uma determinada disciplina foi igual a 1,00, isso significa que, nessa disciplina, a participação de artigos brasileiros na produção mundial da mesma foi de 0,35% (obtida em 1986). A especialização brasileira e a mundial são iguais. Assim, para que a produção de uma determinada disciplina alcance o "padrão de eficiência norte-americano", produzindo no mínimo 0,62% dos artigos mundiais da mesma, o **índice de especialização** deve alcançar um valor igual a 1,77 (resultado da divisão de 0,62 por 0,35 — dados de 1986). Esses cálculos estão detalhados em Albuquerque (1995, 1996).

⁸ É interessante apontar que, dentre os setores identificados como próximos do "padrão de eficiência norte-americano", tanto a Física como a Biologia têm uma grande tradição no país. O desenvolvimento dessas ciências vem de longa data: a Biologia, desde o início do século XX, a Física especialmente, desde o final da Segunda Guerra Mundial (SCHWARTZMAN, 1979).

Em outras disciplinas abaixo do padrão aqui proposto, há subdisciplinas que alcançaram, uma das categorias: na Medicina Clínica (0,58), está a Medicina Tropical (10,8); na Biomedicina (1,03), estão a Parasitologia (5,9), a Anatomia e Morfologia (2,4) e a Biologia Celular, Citologia e Histologia (1,9), além da Genética e Hereditariedade, que está próxima (1,6).

Essa lista se presta a fornecer indícios, agora positivos, da diferenciação da ciência praticada no Brasil. A consciência dessa diferenciação (apesar do caráter limitado e preliminar da classificação e dos critérios aqui propostos) será útil para a discussão da próxima seção.

5 - Ciência, indústria e "janelas de oportunidade"

A presente seção concentrar-se-á na análise de três disciplinas: Física, Biologia e Matemática. Elas foram escolhidas porque obtiveram um índice compatível com o "padrão de eficiência norte-americano". Esta seção vai discutir as possibilidades de o sistema produtivo utilizá-las.

5.1 - A relevância da ciência para certos setores industriais

Klevorick *et al* (1995) publicaram os resultados do Yale Survey, uma pesquisa abrangente que envolveu 650 firmas de 130 diferentes ramos de atividade industrial nos Estados Unidos. Foram ouvidos os gerentes das linhas de pesquisa e desenvolvimento dessas empresas. Nessa pesquisa, foram identificados os setores industriais que mais relevância atribuem tanto à ciência em geral como à atividade universitária em determinado ramo científico. O resultado é interessante para a discussão que aqui se realiza, pois aponta quais setores virtualmente poderiam interessar-se e aproveitar-se das disciplinas que alcançaram no Brasil um nível compatível com o "padrão norte-americano".

Os dados obtidos pelo **Yale Survey** foram organizados de forma a captar os setores industriais que atribuem alta relevância à ciência para a sua tecnologia industrial. Esses dados foram desagregados por disciplina (KLEVORICK *et al*, 1995, p. 194, 196).

A Biologia foi considerada altamente relevante para os setores industriais medicamentos, pesticidas, *meat products* (carnes) e alimentação animal e, como ciência universitária, para alimentação animal, medicamentos, frutas e vegetais processados. Já a Física foi considerada altamente relevante para as indústrias de semicondutores, computadores e mísseis e, do ponto de vista da universidade, para instrumentos óticos e tubos eletrônicos.

A Matemática é considerada relevante pelas indústrias de instrumentos óticos, máquinas-ferramentas, motores de veículos. Como disciplina universitária é importante para a indústria de instrumentos óticos.

Essa lista de setores apresentada por Klevorick *et al.* pode ser interpretada como uma lista das indústrias que se beneficiariam com a existência de uma ciência de “padrão compatível com o norte-americano” no Brasil. Quando se utiliza o resultado do **Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira** (COUTINHO, FERRAZ, coords., 1994), percebe-se que, de todos os setores mencionados, apenas dois — suco de laranja e óleo de soja (que estão na categoria identificada por Klevorick *et al.* como frutas e vegetais processados) — foram classificados como “setores com capacidade competitiva”. Todos os demais foram avaliados pelo ECIB como “setores com deficiências competitivas”.

Dessa comparação, uma conclusão pode ser tirada: problemas nas disciplinas de Física, Biologia e Matemática não podem ser computados entre as razões para a “deficiência competitiva” dos setores industriais acima apontados. O setor produtivo brasileiro estaria, na verdade, desperdiçando oportunidades tecnológicas ao não se aproveitar do bom nível das disciplinas aqui tratadas.

Essa hipótese pode ser reforçada pela análise dos “centros de excelência” existentes no Brasil (MARCOVITCH, 1992). Esse estudo demonstrou que os Centros de Pesquisa e Desenvolvimento das empresas Rhodia (medicamentos) e Metalleve (autopeças) alcançaram padrões de excelência. Eles estão em áreas que atribuem elevada relevância à Biologia (Rhodia), à Física e à Matemática (Metalleve) respectivamente.

5.2 - As disciplinas e o aproveitamento de “janelas de oportunidade”

Três indústrias do “setor baseado na ciência” (PAVITT, 1984) relacionam-se diretamente com as três disciplinas aqui avaliadas: Microeletrônica (Física), Software (Matemática) e Biotecnologia (Biologia). A análise desses três setores será realizada porque a entrada do Brasil neles significaria o “aproveitamento de janelas de oportunidade”. E esse aproveitamento é um dos elementos que atestariam o amadurecimento de um sistema nacional de inovação.

Essa análise será realizada tendo como referência o esquema de Perez e Soete. A ênfase será atribuída ao componente conhecimento científico e tecnológico (S), que, por sua vez, se apóia na análise realizada nas seções 2 e 3.

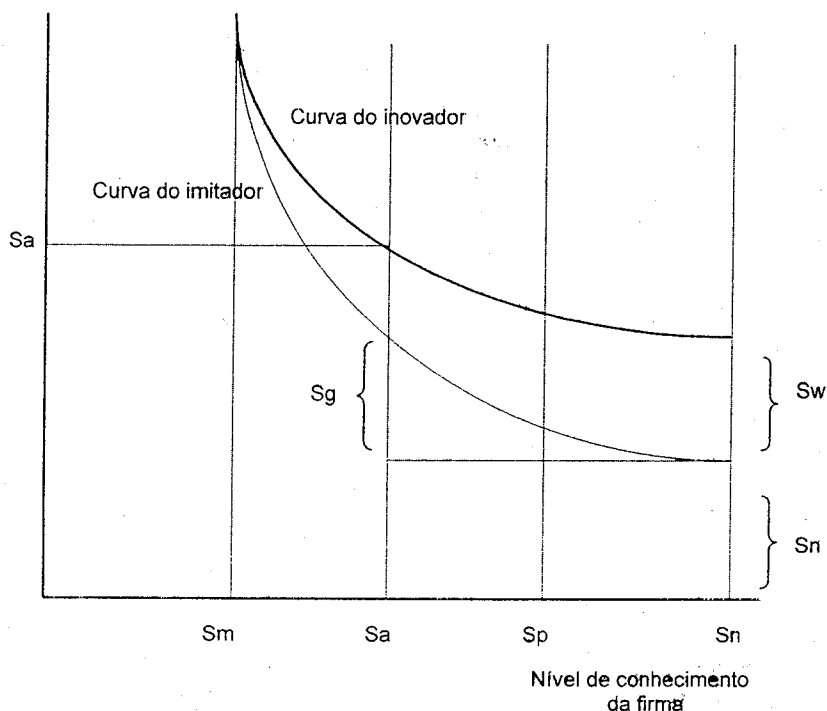
A equação básica é: $C = S + I + E + X$

O componente **S** pode ser melhor avaliado a partir da Figura 1, que o desagrega em um componente público (S_p) e em um custo em que a empresa deverá incorrer (a diferença entre o conhecimento livremente disponível, fornecido fundamentalmente pelas instituições públicas, S_p , e o total do conhecimento necessário para utilizar com sucesso a inovação, S_n).

Figura 1

Custos relacionados ao conhecimento para firmas inovadoras e imitadoras

Custo
Conhecimento



FONTE: PEREZ, C., SOETE, L. (1988). Latching up in technology: entry barriers and windows of opportunity. In: DOI, G.; FREEMAN, C; ELSON, R., et al., eds. **Technical change and economic theory**. London: Pinter. p. 467.

A partir desse esquema, um sumário das situações dos três setores escolhidos será realizado.

5.2.1 - Software

O conhecimento científico e tecnológico acumulado (a variável **S**) tem um desenvolvimento razoável nesse setor: o conhecimento público (**Sp**) é relevante (LUCENA, 1993; PONDÉ, 1993). A empresa inovadora deve arcar com um **Sg** pequeno (conforme a Figura 1) para fechar o hiato entre o conhecimento público disponível (**Sp**) e o total de conhecimento relevante necessário para a firma entrar nessa tecnologia (**Sn**).

Quanto aos outros custos de entrada, o custo de capital fixo (**I**) não é proibitivo, dada a tendência de baixa de custo dos equipamentos de informática (da ordem de milhares de dólares). Aliás, nesse setor, a pequena empresa tecnologicamente inovadora pode ter um papel extremamente importante. Considerado o legado da experiência anterior na indústria de informática, existe experiência acumulada, e os custos a ela relacionados (**E**) são baixos (VILLASCHI, 1992). O problema maior estaria nos custos locacionais (**X**), em especial devido às limitações do mercado interno (SCHWARE, 1992). Essas limitações podem ser superadas, inicialmente, pela conquista de parcelas do mercado internacional e pela abertura de espaço no país, através do desenvolvimento de *software* específicos para as atividades econômicas internas, ao longo de um processo de modernização consistente do parque brasileiro.

Portanto, na área de *software*, a contribuição do setor científico é relevante, e, no geral, os outros custos de entrada não são proibitivos.

Essas características de custo do setor de *software*, o acúmulo de conhecimento especializado nas universidades e os exemplos internacionais indicam que não é descartada a possibilidade de crescimento do número de pequenas firmas tecnologicamente inovadoras através do processo de *spin-off*.

5.2.2 - Microeletrônica

Constata-se a existência de conhecimento científico e tecnológico, expresso na variável **S** (REZENDE, 1993; MARÃO, 1990; MAMMANA, 1990). O seu componente público (**Sp**) é razoável: como mencionado no tópico anterior, a subdisciplina Física do Estado Sólido, que apresenta uma relação íntima com a área de semicondutores, alcançou um "índice de especialização" igual a 4,0 (bem superior ao índice 1,77, que demarcaria o "padrão de eficiência norte-americano"). A componente científica da variável é de bom nível, mas a componente tecnológica

é fraca. O hiato a ser preenchido pelas firmas entre o conhecimento público e o conhecimento necessário para a adoção pela firma da tecnologia (Sn - Sp) é alto.

A maior dificuldade, porém, estaria no investimento em capital fixo (I) que seria necessário. O investimento para a construção de uma fábrica "ultralimpa" de *wafers* hoje é de US\$ 1 bilhão (Business Week, 1994).

Em função da falta de experiência e de qualificação técnica das firmas nacionais, os custos relacionados com a experiência (E) são elevados. Quanto aos custos locacionais (X), especialmente em função da pequena dimensão do mercado e da debilidade do setor eletrônico do País,⁹ eles são também elevados.

O resultado desse balanço é a identificação de custos de entrada altos. Claramente, para que se viabilizasse uma entrada aqui, uma política industrial muito ativa deveria ser implementada.¹⁰ Porém surge aí um segundo problema: a rapidez do desenvolvimento da indústria em nível mundial tornaria rapidamente obsoletos os pesados investimentos que teriam sido feitos no País.

É importante anotar que o Relatório Final do ECIB concluiu que "(...) a área de componentes, de forma geral, deixa de ser considerada como prioritária do ponto de vista da produção local. Algumas atividades em microeletrônica devem ser mantidas, já que esta é uma das tecnologias básicas a todos os setores do complexo eletrônico". O alvo deve ser o "projeto de circuitos integrados dedicados" (COUTINHO, FERRAZ, coords., p. 396), área que pode aproveitar a capacitação no setor de *software* e combiná-la com parte do acumulado na área de Microeletrônica.

5.2.3 - Biotecnologia

O nível de conhecimento científico e tecnológico é baixo, dada a debilidade do Brasil quanto à biotecnologia moderna (AZEVEDO, 1993; CARVALHO, 1993). Isso implica custos com conhecimento (S) altos. Talvez o nível mínimo necessário

⁹ É importante lembrar que o sucesso da entrada da Coreia do Sul na produção de circuitos integrados, dentre outros fatores, se apoiou numa indústria de bens eletrônicos forte (AMASDEN, 1989, p. 81-84).

¹⁰ Na avaliação de Araújo, Correa e Castilho (1992, p. 163), a microeletrônica está entre os setores (ao lado de telecomunicações e computadores) que "só conseguirão acompanhar o ritmo do progresso tecnológico internacional se contarem com o apoio do Governo, mas através de mecanismos radicalmente diversos dos que foram aplicados no passado recente".

(Sm) já tenha sido ultrapassado. O nível do conhecimento público (Sp) precisa se desenvolver, donde investimentos são requeridos. Mas parece existir a ação de alguns fatores "facilitadores" para o desenvolvimento da capacitação científica nacional no setor, como discutido anteriormente: a "especialização nacional" na Biologia, o acúmulo nas ciências agrárias "tradicionais" e de saúde estabelecem um ponto de partida importante (e alto) para o desenvolvimento do setor científico da biotecnologia moderna. Essa capacitação "vizinha" pode alavancar a melhora do conhecimento científico e tecnológico, em geral, e do conhecimento científico publicamente disponível, em particular: os investimentos na área científica desse setor teriam retornos altos (e talvez mais rápidos). Lemos (1994, p. 33, 36), ao identificar que o Brasil tem a melhor estrutura institucional para o desenvolvimento da pesquisa biotecnológica no Terceiro Mundo, aponta a necessidade de uma reestruturação do sistema de pesquisa agrícola pública. Tal reestruturação é um requisito importante para que a interação entre a nascente bio-indústria e os complexos agroindustriais possa criar "um mercado para serviços e produtos agrobiotecnológicos suficientes para gerar economias mínimas de especialização" (Ibid., p. 35).

Quanto aos outros componentes da equação de Perez e Soete, os custos com capital fixo (I) não são expressivos, pois trata-se de um setor onde as pequenas empresas inovadoras, ao menos nos estágios iniciais, podem desempenhar um papel importante. Porém, no Brasil, a trajetória das novas empresas de biotecnologia (NEBs) tem sido turbulenta, o que enfatizaria

"(...) as dificuldades de consolidar o modelo americano de pesquisa privada biotecnológica com a participação de pequenas e médias empresas altamente especializadas. A onda de fechamentos das recém-criadas NEBs no início dos anos noventa aponta dificuldades de países periféricos desenvolverem capacidade tecnológica autônoma em pesquisa genética fora do setor público" (LEMONS, 1994, p. 34).

A experiência existe, embora se concentre no setor mais tradicional da biotecnologia, o que contribui para reduzir os custos de experiência (E). A experiência precisa desenvolver-se e conta com elementos facilitadores pelas mesmas razões que contribuem para a alavancagem do conhecimento geral do ramo. As vantagens aglomerativas, por sua vez, reduzindo os custos locais (X), estão presentes seja pela força do setor agroindustrial brasileiro, seja pela dimensão das demandas no setor saúde do País.

6 - Conclusão

A partir da avaliação da categoria de uma “tipologia” rudimentar de sistemas de inovação na qual o Brasil se inclui, duas questões gerais foram apontadas. No geral, os sistemas de inovação “imaturos” melhoraram o desempenho de sua produção científica entre 1981 e 1992. Esse desempenho, porém, não é acompanhado pelo setor industrial e tecnológico, conforme sugere o valor abaixo da média internacional obtido para o **indicador de aproveitamento de oportunidades**: obtêm-se menos patentes no USPTO do que se publica em revistas científicas internacionais.

A análise das possibilidades de “aproveitamento das janelas de oportunidade” para os setores de *software*, micro-eletrônica e biotecnologia indicou uma situação de “entrada não garantida”. Esse diagnóstico é mais uma evidência em favor do caráter imaturo do sistema de inovação brasileiro.

No entanto é necessário mencionar as contribuições que a “acumulação científica” já realizada no Brasil tem a oferecer. A comunidade científica brasileira, respeitando as desigualdades descritas ao longo deste artigo, pode contribuir para: (a) a compreensão da situação científica e tecnológica mundial, funcionando como uma “antena” para identificar áreas e setores onde é fundamental ampliar conhecimentos; (b) a formulação de políticas científicas de mais longo prazo; (c) definir aspectos da política industrial onde a articulação entre o setor científico e o industrial seja crucial; (d) evitar tentativas de entrada em setores cuja capacitação nacional seja baixa; (e) formular políticas específicas para diminuir o desperdício dos gastos de P&D do País, ampliando a eficiência em sua utilização.

Para que essas contribuições se viabilizem, é necessário que os gastos em P&D no País se ampliem de forma significativa. Do setor público e da comunidade científica são necessários critérios para ampliar a eficiência desses gastos. Do setor privado espera-se um crescimento significativo de sua “motivação para inovar”, que só pode ser viabilizada através da ampliação de seus gastos em P&D.

Bibliografia

- ALBUQUERQUE, E. da M. (1995). **Sistemas de inovação, acumulação científica nacional e o aproveitamento de “janelas de oportunidade”**: notas sobre o caso brasileiro. Belo Horizonte : UFMG/CEDEPLAR. (Dissertação de mestrado em economia).

- ALBUQUERQUE, E. da M. (1996). Sistema nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v.16, n.3, p.56-72, jul./set.
- ALBUQUERQUE, E. da M. (1997). Notas sobre os determinantes tecnológicos do processo de *catching up*: uma introdução à discussão sobre o papel dos sistemas nacionais de inovação na periferia. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v.27, n.2, maio/ago.
- ALBUQUERQUE, E. da M. (1997a). **National systems of innovation and Non OECD countries**: notes about a tentative typology. Brighton : SPRU.
- AMSDEN, A. H. (1989). **Asia's next giant**: South Korea and late industrialization. New York/ Oxford : Oxford University.
- ARAUJO, J. T., CORREA, P. G., CASTILHO, M. (1992). Oportunidades estratégicas da indústria brasileira na década de 1990. In: VELLOSO, J. P. R., coord. **Estratégia industrial e retomada do desenvolvimento**. Rio de Janeiro : José Olympo. p.27-170.
- AZEVEDO, J. L. (1993). A pesquisa agropecuária no Brasil. In: SCHWARTZMAN, S., coord. **Ciência e tecnologia no Brasil**: uma nova política para um mundo global. São Paulo : FGV/ EAESP (Série: Ciência e tecnologia no Brasil).
- BELL, M., PAVITT, K. (1993). Technological accumulation and industrial growth. **Industrial and Corporate Change**, v.2, n.2, p.157-211.
- BIATO, F. A., coord. (1992). **Estudos analíticos do setor de ciência e tecnologia**. Brasília : MCT.
- BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Ciência e Tecnologia (1991). **Relatório estatístico 1980-1990**. Brasília : SCT.
- BUSINESS WEEK (1994). New York : McGraw-hill, 4 jul.
- CARVALHO, A. (1993). Biotecnologia. In: SCHWARTZMAN, S., coord. **Ciência e tecnologia no Brasil**: uma nova política para um mundo global. São Paulo : FGV/ EAESP (Série: Ciência e tecnologia no Brasil).
- CASTRO, C. M. (1985). **Há produção científica no Brasil?** Brasília : IPEA/ IPLAN/CNRH. (Documento de trabalho, 18).
- COHEN, W. N., LEVINTHAL, D. A. (1989). Innovation and learning: the two faces of R & D. **The Economic Journal**, New York, v.99, n.397, p.569-596, sept.

- COUTINHO, L., FERRAZ, J. C., coords. (1994). **Estudo sobre a competitividade da indústria brasileira**. Campinas : UNICAMP/ Papirus.
- CZAPSKI, G. (1997). **A scientometric analysis of scientific activity in different fields, in Brazil during 1981-1995**. Jerusalem : Hebrew University. (mimeo).
- DAHLMAN, C. J., FRISCHTAK, C. R. (1993). National systems supporting technical advance in industry: the brazilian experience. In: NELSON, R., ed. **National innovation systems: a comparative analysis**. New York, Oxford : Oxford University. p.69-123.
- DASGUPTA, P., DAVID, P. (1994). Towards a new economic of science. **Research Policy**, 23, n.4, Sept.
- DOSI, G. (1988). Sources procedures and microeconomic effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, Nashville, v.26, n.3, p.1120-1171, sept.
- FORAY, D., LUNDVALL, B-A. (1996). The knowledge - based economy: from the economics of knowledge to the learning economy. In: **EMPLOYMENT and growth in the knowledge - based economy**. Paris : OECD.
- FREEMAN, C. (1982). **The economics of industrial innovation**. London : Frances Pinter.
- FREEMAN, C. (1987). **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London : Pinter.
- FREEMAN, C. (1988). Japan a new system of innovation. In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., eds. **Technical change and economic theory**. London : Pinter. p.330-348.
- FREEMAN, C. (1995). The National system of innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v.19, n.1.
- FREEMAN, C. (1989). New technology and catching up. **The European Journal of Development Research**, London, v.1, n.1, p.83-99, jun.
- GREENE, W. H. (1993). **Econometric analysis**. London : Prentice Hall.
- GRILICHES, Z. (1990). Patent statistics as economic indicators: a survey. **Journal of Economic Literature**, Nashville, v.28, Dec.
- KLEVORICK, A., et al. (1995). On the sources and significance of interindustry differences in technological opportunities. **Research Policy**, v.24, p.185-205.
- LEMOES, Mauro B. (1994). **Liderança de mercados e entrada em tecnologia**

em sistemas agroalimentares de países semi - industrializados: o caso brasileiro. Belo Horizonte : UFMG/ CEDEPLAR. (Texto para discussão).

LUCENA, C. (1993). A situação atual e o potencial da área de computação no Brasil . In: SCHWARTZMAN, S., coord. **Ciência e tecnologia no Brasil: uma nova política para um mundo global.** São Paulo : FGV/ EAESP (Série: Ciência e tecnologia no Brasil).

MAMMANA, C. I. Z. (1990). **A indústria microeletrônica.** Campinas : UNICAMP. (Pesquisa - Desenvolvimento tecnológico da indústria e a constituição de um sistema nacional de inovação no Brasil, coordenada por Coutinho).

MARÃO, G. A. (1990). **Microeletrônica: diagnóstico, avaliação e proposições para a inovação e competitividade.** Campinas : UNICAMP. (Pesquisa - Desenvolvimento tecnológico da indústria e a constituição de um sistema nacional de inovação no Brasil, coordenada por Coutinho).

MARCOVITCH, J. (1992). Centros de excelência em P&D. In: BIATO, F. A., coord. **Estudos analíticos do setor de ciência e tecnologia.** Brasília : MCT.

MARTINS, G. M. (1993). **Situação e perspectivas das estatísticas nacionais de ciência e tecnologia.** Brasília : IBICT.

MOWERY, D., ROSENBERGER, N. (1989). **Technology and the pursuit of economic growth.** Cambridge : Cambridge University.

NELSON, R. (1982). The role of knowledge in R&D efficiency. **The Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v.97, n.3, p.453-471, Aug.

NELSON, R. (1986). Institutions supporting technical advance in industry. **American Economic Review**, Washington, v.76, n.2, p.186-189, May.

NELSON, R. (1988). Institutions supporting technical change in the United States. In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., eds. **Technical change and economic theory.** London : Pinter. p.312-329.

NELSON, R., ed (1993). **National innovation systems: a comparative analysis.** New York/ Oxford : Oxford University.

NELSON, R., ROSENBERGER, N. (1993). Technical innovation and national systems. In: NELSON, R., ed. **National innovation systems: a comparative analysis.** New York/ Oxford : Oxford University. p.3-21.

PATEL, P., PAVITT, K. (1994). National innovation systems: why they are important, and how they might be measured compared. **Economics of Innovation and New Technology**, Basel, v.3, n.1, p.77-95.

- PAVITT, K (1991). What makes basic research economically useful? **Research Policy**, v.20, n.2, p.109-119.
- PAVITT, K. (1984). Sectoral patterns of technical change. **Research Policy**, Amsterdam, n.13, p.343-373.
- PAVITT, K. (1997a). Transforming centrally planned systems of science and technology: the problem of obsolete competencies. In: DYKER, D. A., ed. **The technology of transition**. Budapest : Central European University.
- PAVITT, K. (1997b). **The social shaping of national science base**. Brighton: SPRU. (mimeo).
- PEREZ, C., SOETE, L. (1988). Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity. In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., eds. **Technical change and economic theory**. London : Pinter. p.458-479.
- PONDÉ, J. L. (1993). Trajetórias evolutivas e competitividade: uma análise da indústria de software. In : ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 21, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte : ANPEC. p.365-384.
- RADOSEVIC, S. (1997). Systems of innovation in transformation; from socialism to post-socialism. EDQUIST, C., ed. **Systems of innovation technologies, institutions and organizations**. London : Pinter.
- REZENDE, S. (1993). **Avaliação da área e proposições para a física no Brasil**. São Paulo : FGV/ EAESP. (Serie: Ciência e tecnologia no Brasil).
- ROSENBERGER, N. (1976). **Perspectives on technology**. Cambridge : Cambridge University.
- SCHOTT, T. (1993). Performance, specialization and international integration of science in Brazil: changes and comparisons with other Latin America and Israel. In: SCHWARTZMAN, S., coord. **Ciência e tecnologia no Brasil: uma nova política para um mundo global**. São Paulo : FGV/ EAESP (Serie: Ciência e tecnologia no Brasil).
- SCHWARTZMAN, R. (1992). Obstáculos e oportunidades para os produtos brasileiros de software. In: EVANS, P., FRISCHTAK, C., TIGRE, P., orgs. **Informática brasileira em transição: política governamental e tendencias internacionais nos anos 90**. Rio de Janeiro : UFRJ/ IEI. P.227-256.
- SCHWARTZMAN, S. (1979). **Formação da comunidade científica no Brasil**. São Paulo : Nacional.
- SCHWARTZMAN, S., coord. (1993). **Ciência e tecnologia no Brasil: uma**

nova política para um mundo global. São Paulo : FGV/ EAESP (Série: Ciência e tecnologia no Brasil).

SCIENCE and technology report (1994). Brussel : European Commission.

STEPHAN, P. (1996). The economics of science. **Journal of Economic Literature**, v.39, p.1199-1235, Sept.

TEITEL, S. (1994). Scientific publications, R&D expenditures, country size, and per capita income: a cross section analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v.46, p.175-187.

VELHO, L. (1987). The author and beholder: how paradigm commitments can influence the interpretation of research results. **Scientometrics**, v.11, n.1-2, p.59-70, jan.

VILLASCHI, A. (1992). **The brazilian national system of innovation: opportunities and constraints for transforming technological dependency.** London : University of London/ University College of London. (Tese de doutorado em economia).

Abstract

The Brazilian scientific performance (according to the *Institute for Scientific Information*) is the subject of this paper. The concept of National System of Innovation (NSI) underlies the analysis of the contribution that scientific performance could provide for the economic development of a Third World country. A tentative NSI "typology" is suggested to evaluate non-OECD countries. The Brazilian scientific performance is analysed and its efficiency is tested. Further this analysis investigates this performance at scientific discipline (and sub-discipline) level. The performance at scientific discipline level is the starting point to investigate the possibilities that some Brazilian industrial sectors (Microelectronics, Software and Biotechnology) have to take advantage from existing "windows of opportunity". The conclusion of this paper conjectures that the Brazilian scientific performance is underestimated by the industrial sector.