

Uma introdução aos indicadores de capacidades tecnológicas ¹

Caio Soares Pereira Reis²

Adam Smith mostrou na ‘Riqueza das Nações’ que a divisão do trabalho permite que as sociedades produzam mercadorias cada vez mais complexas e com maior produtividade, abdicando neste processo do domínio de todos os estágios de produção, o que implica na dispersão das informações produtivas entre os agentes. Estes agentes por sua vez, se organizam em firmas para produzir, e estas ao trocarem entre si formam redes de trocas (Hidalgo, 2015). Tais redes podem gerar produtos mais ou menos complexos, como um simples prego ou um avião a jato, sendo possível compreender o ‘estágio de desenvolvimento’ de um país de acordo com a forma como suas redes possuem mais ou menos conhecimento aplicado na produção efetiva de mercadorias (Hidalgo, 2015; Gala, 2017).

O processo de criação e expansão destas redes de produção não é simples, pois não basta ter indivíduos capacitados para produção, capital e bens de capital. É preciso que os mesmos consigam de algum modo se conectar para produzir, existindo vários ‘custos de transação’, barreiras culturais e de informação e tecnológicos, implicando em certa territorialidade das redes (Hidalgo, 2015).

Além disso, os conhecimentos necessários nem sempre são facilmente transacionáveis, pois necessitam de aprendizado, estando muitas vezes

implícitos nos agentes, nas firmas e nas instituições dos países (Hidalgo, 2015). Ou seja, são tácitos. Como exemplo podemos citar a formação de um dentista ou médico, apesar de boa parte do conhecimento necessário para exercer tais atividades estarem registrados em livros ou manuais que podem ser transacionáveis, outra parte tão relevante quanto, somente se aprende praticando, *learnig by doing*, o que certamente consome tempo.

Assim a transferência de informações produtivas necessariamente requer aprendizado, pois o conhecimento (como acentuado) é tácito. Sendo necessário para tal, capacidades várias, bem como um ambiente produtivo compatível (LALL, 1992; Hidalgo 2015). Não obstante, as diferentes distribuições de bens de capital, infraestrutura, características naturais do mercado (como o tamanho ou as preferências dos consumidores) dificultam a migração de processos produtivos. Com isso, cria-se uma rigidez que impede as as firmas de uma função de produção comum (LALL, 1992).

They operate, in other words, not on a production function but at a point, and their technical progress, building upon their own efforts, experience and skills, is (to varying degrees) “located” around that point (Atkinson and Stiglitz, 1969 em Lall, 1992, pp. 160).

¹ Este texto introdutório foi baseado parcialmente na monografia ‘Complexidade econômica, capacidades produtivas e desenvolvimento’ de minha autoria, apresentada ao Programa de Educação Tutorial – PET, do curso de graduação em Ciências Econômicas da FACE/UFMG, primeiro semestre de 2017.

² Discente no Curso de Ciências econômicas, FACE/UFMG; Bolsista voluntário No Grupo de Análise da Conjuntura Mineira (GAC/Cedeplar)

TEXTO INTRODUTÓRIO

As firmas por sua vez, passam por um processo contínuo de absorção e criação de conhecimento produtivo, estando interagindo com o ambiente em que estão inseridas, recebendo tanto 'inputs' externos, quanto fornecendo 'outputs'. Dessa forma, a dinâmica de acumulação depende tanto da capacidade interna quanto do ambiente em que estão inseridas (Lall, 1992), sendo que as firmas ao nível nacional são interdependentes. Formando, assim, cadeias para trás, bem como para frente em que o desempenho de uma depende do desempenho sistêmico, ou seja, concebe-se que o ambiente econômico em que as firmas se inserem são relevantes para explicar sua capacidade interna de inovação, sendo concebível falar que um país é mais ou menos inovador que outro (Lall, 1992).

Dado que a inovação tecnológica é um dos principais motores do crescimento a longo prazo; no tempo, as diferenças de crescimento entre os países são explicadas em parte pelas diferentes capacidades de cada um destes em inovar (Archbugi et al, 2008). Sendo que esta explica no longo prazo o grau de desenvolvimento das nações.

The assumption, often implicit but nevertheless largely shared, is that current technology lays the foundations for tomorrow prosperity. Innovation and technological capabilities are considered the engine of productivity, international competitiveness, growth, employment, human capital and well-being (Archibugi, Denni e Filippetti, 2009, pp. 930).

Dado este caráter comum entre as firmas, podemos pensar em capacidades, como um diferencial entre países (Lall, 1992; Felipe, Kumar & Abdon, 2010). Dessa forma países podem ser mais ou menos inovadores, de acordo com o 'estoque' de capacidades existentes neles. Grupp e Shumbert (2010), mostram que é possível formar indicadores de 'capacidades de inovação' através da agregação de vários outros indicadores uma vez que o conceito de inovação comporta várias dimensões.

Indicadores sintéticos de capacidades

Geralmente, os diversos indicadores de capacidades ao nível nacional, tentam ser uma proxy para indicar: (a) capacidade do país desenvolver novas tecnologias; (b) investimento físico (bens de capital e infraestrutura); (c) capital humano (Felippetti & Peyrache, 2010; Lall 1992; Archibugi & Coco, 2004). Utilizando indicadores para cada um dos subpontos, que em seguida são associados para formar um indicador único. Entre os argumentos dados pelos autores, para escolha desses três campos, bem como os indicadores escolhidos em cada, destacamos que:

(a) Como o processo de desenvolvimento se dá no tempo, sendo necessário explicar o porquê alguns países permanecem na vanguarda, ou dito de outra forma, permanecem na fronteira enquanto outros não. Para tal, geralmente utilizam-se indicadores como número de patentes por milhão de pessoas, ou número de artigos científicos publicados em conjunto de revistas selecionadas entre as mais prestigiosas no mundo. Tais podem fazer diferença tanto na produção interna de tecnologia quanto no processo de assimilação de novas tecnologias vindas do exterior, pois países com capacidade de inovação podem adaptar tais tecnologias com maior facilidade, ou mesmo conseguir importar a capacidade de inovar e não só o produto da inovação em si, que rapidamente tende à desvalorizar-se.

(b) O investimento físico é considerado uma capacidade básica, pois qualquer tipo de atividade econômica moderna necessita destes. Geralmente sendo mensurado por meio de indicadores como consumo de energia elétrica ou linhas telefônicas por mil habitantes.

(c) Em relação ao capital humano, inclui-se não somente o treinamento formal, mas também o conhecimento tácito. Aqui se utiliza indicado como anos de escolaridade, analfabetismo, entre outros. Dentre os vários indicadores, vamos utilizar o ArCo, desenvolvido por Archbugi e Coco em 2004 para exemplificar como os indicadores geralmente são construídos e interpretados. Escolhemos este indicador de capacidade tecnológica por ser um

TEXTO INTRODUTÓRIO

dos mais citados e reproduzidos na literatura. Este consiste em uma média aritmética das médias aritméticas das três dimensões citadas. Para garantir compatibilidade de unidades entre os sub indicadores, utilizados para formar as três dimensões, cria-se um 'índice de realização tecnológica'³, o que garante que o resultado varie de zero a um, sendo zero capacidade observada relativa mínima, enquanto um, representa o máximo observado.

Para formar séries temporais, os valores obtidos com a TAI são fixados. Repetindo-se o processo para poder comparar a evolução dos sub indicadores no tempo.

Como a presença das capacidades no tempo tende a crescer para todos os países, esse indicador mostra como está a 'evolução relativa' de cada país. Com domínio de zero a um. O ArCo, baseia-se no preposição de que as capacidades a,b e c são relevantes para explicar o diferente desempenho entre os países, sendo a média aritmética desses.

Em que I_i , representa as três dimensões, enquanto λ_i é o peso de cada, nesse caso 1/3 (atribuísse mesmo peso a cada uma delas). O índice de cada categoria é calculado através do mesmo procedimento com os subíndices. Sendo considerados basicamente oito sub índices, dois para primeira categoria, três para as outras duas. Sendo:

(a1) patentes – patentes geralmente são consideradas uma boa proxy das inovações tecnológicas voltadas para propósitos comerciais. O autor considera as patentes garantidas nos EUA pelo Patents and Trademark office, assumindo que

qualquer agente que tenha uma inovação relevante patenteável deseja que seu valor econômico seja protegido no principal mercado capitalista. Para remover as assimetrias que podem ser produzidas pelo diferente número de residentes entre os países, o número de patentes de invenções é dividida pela população. Da mesma forma, para reduzir o impacto das patentes registradas por americanos, devido ao fato de se analisar o escritório de seu país natal, estima-se o número de patentes dos EUA, pelo produto das patentes registradas pelo Japão nos Estados Unidos multiplicado pelo número de patentes registrado pelos Estados Unidos no escritório de patentes europeu, sendo o produto dividido pelo número de patentes do Japão no escritório europeu. Em seguida aplica-se as fórmulas descritas antes. Tal, apesar de ser considerado um bom estimador, tem seus problemas, pois várias inovações não chegam a ser patenteadas, principalmente em países subdesenvolvidos.

(a2) artigos científicos – os artigos científicos são uma proxy para o conhecimento gerado em um país, seja por meio da universidade ou por pesquisadores geralmente ligados a instituições, sejam elas públicas ou privadas. O autor utiliza o banco do institute for scientific informations para obtenção de dados, este contém mais de 8.000 jornais, sendo selecionados os de maior prestígio no mundo. Um dos problemas apontados é que os países de língua inglesa são desproporcionalmente beneficiados, uma vez que esses tendem a ter maior visibilidade pelos periódicos. Os dados são avaliados em proporção da população, sendo representado em número de publicações anuais por milhões de pessoas. Uma das observações feita pelos autores, é a elevada correlação entre artigos e patentes, mostrando certa complementariedade entre ambas.

b1) penetração da internet – apesar da internet ser recente, ela se tornou vital, seja para obtenção de informação ou suas aplicações mais diretas. O autor utiliza dados do banco mundial, que indicam o número de utilizadores dividido pela população.
(b2) penetração telefônica – assim como a internet

3 TAI=technological achievement index

TEXTO INTRODUTÓRIO

o acesso ao telefone é vital, uma vez que é um mecanismo essencial de comunicação. Em relação às linhas telefônicas essas são representadas por mil no número de linhas não é tão relevante, ele utiliza uma média diferente da utilizada acima, sendo a divisão do logaritmo do número observado pelo logaritmo da média dos países da OCDE, utilizando os dados do Banco Mundial. (b3) consumo de energia – o consumo de energia pode ser um indicador do uso de equipamentos e maquinaria, vitais em um país moderno. Devido ao fato de que a energia tem usos diversos, o autor assim como para a penetração telefônica prefere utilizar logaritmos para reduzir a diferença entre os países.

(c1) matriculados em ciências e engenharias – este indicador considera a proporção de estudantes universitários matriculados em ciências e engenharias, pela população nessa faixa etária, fornecendo uma estimativa de desenvolvimento científico e criação de capital humano, sendo obtido através da multiplicação da porcentagem bruta das matrículas em ensino superior (removendo os menores de idade) pela porcentagem dos estudantes em ciências (ciências naturais, matemáticas, informática e estudos voltados à compreensão do comportamento social) e engenharias.

(c2) média dos anos de escolaridade – basicamente é a média de anos escolares completados da população com idade superior a quatorze anos. Este indicador não considera a qualidade da educação, sendo utilizado os dados do Banco Mundial.

(c3) taxa de alfabetismo – esta representa a porcentagem da população que tem mais que quatorze anos, com capacidade de escrever e ler um pequeno texto acerca de assuntos coloquiais, sendo fornecido pelo Banco Mundial e UNDP (United Nations Development Programme). Considerando-se a população de fato do país, ou seja, as pessoas residentes no mesmo, exceto refugiados que não se estabeleceram definitivamente no país de destino.

Archibugi e Coco (2004 e 2005) mostram que existe uma elevada correlação entre a existência de capacidades (auferidas pelo ArCo) com o PIB per capita PPP em dólares, indicando que ele é um indicador robusto. Além disso, o fato dos oito sub indicadores utilizados não serem baseados em valores monetários reduz o risco de colinearidade, tornando ele mais adequado para uso como variável explicativa. Da mesma forma, ao analisar os dados, os autores propõem que os países sejam divididos em três 'clubes tecnológicos'. (a) países avançados, com elevado capital humano, capacidade de inovação e infraestrutura; (b) seguidores, países com infraestrutura e capital humano mediano ou avançadas, mas com deficiências na inovação; (c) países marginalizados, deficiências nos três pontos considerados no ArCo (Castellacci & Archibugi 2008).

O primeiro cluster de países, é composto por economias industriais avançadas, contendo entre 15 a 21 países, que apesar de ter menos que 15% da população mundial, representa mais de 40% do PIB, contendo os líderes tradicionais como EUA, Japão, economias do norte da Europa, além de países como Israel e Nova Zelândia, com a entrada de alguns tigres asiáticos nos últimos anos analisados. Em relação aos seguidores, que contêm mais de 70 países, podemos perceber uma queda da divergência em relação aos países avançados nas capacidades físicas, medidas pelo número de usuários da internet, linhas telefônicas e consumo de energia. Mas uma expansão da divergência em relação taxa de P&D. Mas alguns países passaram para o grupo de líderes, indicando exitosos processos de catch-up. Além disso, esse grupo contém economias muito heterogêneas, mas no geral o cluster manteve-se inalterado. O terceiro grupo contém os países mais atrasados, mantendo-se estáveis no tempo, com algumas exceções como a China que estava na 97^a posição em 1990, passando para 85^a em 2000. Este grupo divergiu substancialmente do segundo grupo, principalmente em termo das capacidades de inovação. No geral percebe-se que o gap tecnológico é acentuado,

TEXTO INTRODUTÓRIO

seja dos seguidores em relação aos líderes, particularmente nas capacidades de inovação, ou dos marginalizados em relação aos seguidores.

O autor aponta que para o período analisado, os países seguidores estão reduzindo a distância em relação à fronteira tecnológica, enquanto os marginalizados estão elevando sua distância. O autor trabalhou com a hipótese de os países marginalizados terem dificuldades em absorver informações, tendo em vista suas deficiências em infraestrutura e educação básica. Apontando políticas para melhorar as capacidades educacionais e a infraestrutura são necessárias, podendo permitir um acelerado crescimento por meio de absorção de tecnologias externas. Enquanto os seguidores, têm deficiências principalmente na inovação para conseguir completar o processo de catch-up.

Principais limites deste método
Estes indicadores apesar de terem representado um avanço na literatura vem recebendo uma série de críticas. Aqui, vou citar as duas principais: (a) primeiro a crítica mais constante se refere aos índices escolhidos para compor o indicador e os pesos utilizados em cada índice. Sendo que ao variar estes, o ranking de países formado, pode variar bastante (Grupp & Schubert, 2010). (b) segundo, o fato destes indicadores apresentam, no geral, o típico problema de agregação, pois, ao obtê-lo fazendo uma média aritmética de alguns indicadores, é assumido que uma unidade de um indicador pode ser substituída por uma unidade de outro indicador (Archbugui, Denni e Filippetti 2009). O que entra em choque com a preposição da necessidade de complementariedade entre os indicadores.

Por fim, acentuo, baseado na segunda crítica, que pode-se argumentar que as políticas públicas devem levar em conta o estágio de desenvolvimento das capacidades em determinado ponto no tempo. Por exemplo, se um país tem problemas de abastecimento elétrico, não é possível compensar tal com a elevação da produção acadêmica. Por outro lado, as intervenções podem

causar desequilíbrios, nem sempre obtendo o resultado esperado. Publicações científicas e patentes, por exemplo, são meios, e podem não se refletir na produção de fato. Dessa forma, um programa de incentivos para elevar o número de artigos publicados pode criar incentivos equivocados. Por exemplo, incentivos monetários por número de publicações, pode transformar acadêmicos em maximizadores de número de artigos em vez de geradores de conhecimento. Assim, não se pode esperar uma causalidade mecânica entre capacidades tecnológicas de um lado e crescimento de outro, em um cenário em que os países diferem muito uns dos outros, em termos institucionais, culturais e físicos.

Bibliografias principais:

ARCHIBUGI, D.; COCO, A. (2004), A New Indicator of Technological Capabilities for Developed and Developing Countries (ArCo), *World Development*, Vol 32, Nº. 4, pp. 629-654.

ARCHIBUGI, D.; COCO, A. (2005), Measuring technological capabilities at the country level: A survey and a menu of choice, *Research policy* 34, pp. 175-194.

ARCHIBUGI, D.; DENNI, M.; FILIPPETTI, A.; (2009), The technological capabilities of nations: the state of art of synthetic indicators, *Technological Forecasting & Social Change*, 76, pp. 917-931

CASTELLACCI, F.; ARCHIBUGI, D. (2008), The technology clubs: the distribution of knowledge across nations, *Research policy* 37, pp. 1659-1673.

CERULLI, G.; FILIPPETTI, A. (2012), The complementary nature of technological capabilities: Measurement and robustness issues, *Technological Forecasting & Social Change* 79, pp. 875-887.

FILIPPETTI, A.; PEYRACHE, A. (2011), The Patterns of Technological Capabilities of Countries: A Dual Approach using Composite Indicators and Data Envelopment Analysis, *World Development*, Vol. 39, Nº. 7, pp. 1108-1121.

GRUPP, H.; SCHUBERT, T. (2010), Review and new evidence on composite innovation indicators for evaluating national performance, *Research Policy* 39, pp. 67-78.

TEXTO INTRODUTÓRIO

LALL, Sanja (1992). Technological Capabilities and Industrialization, *World Development*, Vol 20, Nº. 2, pp. 165-186.

Bibliografia complementar:

GAL, P. Complexidade econômica: Uma nova perspectiva para entender a antiga questão da riqueza das nações, Rio de Janeiro: Contraponto e Centro Internacional Celso Furtado, 2017.

HIDALGO, Cesar. *Why Information Grows: The Evolution of order, from Atoms to Economies*. New York: Basic Books, 2015.

SMITH, A. *A Riqueza das Nações: Investigação Sobre sua Natureza e suas Causas (Os Economistas)*, São Paulo: Nova Cultural, 1996. (Livro Primeiro).