

MENSURANDO SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO: evidências a partir da análise multivariada de dados

*Camila Maria de Andrade Tolentino
(Mestranda em economia pelo CEDEPLAR-UFMG)*

Resumo

Para compreendermos as transformações econômicas e sociais de um conjunto heterogêneo de países, um possível caminho seria nos voltarmos para sua dinâmica tecnológica. Uma vez que indicadores tradicionais nos dizem pouco sobre sua capacidade de inovar, o presente estudo se propõe a construir um indicador para os sistemas nacionais de inovação (NSI) por meio de análise multivariada de dados. Assim, busca-se enfatizar seu caráter sistêmico na construção de uma medida que nos permita compará-los em termos da capacidade de geração de inovações. A análise culmina na construção de um *ranking* de países com base no indicador construído.

Palavras-chave: Sistema nacional de inovação; componentes principais; *clusters*.

Área temática: Economia

1. Introdução

A partir da década de 1960, após os modelos neoclássicos falharem em dar uma explicação satisfatória sobre os determinantes do crescimento, as diferenças tecnológicas foram incorporadas na literatura como fontes primordiais para explicar diferentes níveis de desenvolvimento entre países (Fagerberg, 1994). Alternativamente às abordagens tradicionais, a mudança tecnológica deixou de ser tratada apenas como um resíduo e passou a ser abordada a partir do desenvolvimento de capacidades tecnológicas para o *catching up* (Abramovitz, 1986).

Assim, para compreendermos as transformações econômicas e sociais e as divergências entre diferentes estágios de desenvolvimento a construção de indicadores da capacidade tecnológica dos países pode ser uma ferramenta útil. Porém, sua construção é notavelmente mais complexa que a de uma variedade de indicadores sociais agregados. A heterogeneidade dos fatores envolvidos nas atividades tecnológicas, notadamente quando transpostos para uma análise sistêmica do processo de inovação, impõe uma série de limitações à construção de um indicador conciso.

A forma como essas atividades são conduzidas varia entre os países, bem como seus determinantes são multicausais e interdependentes, podendo ser influenciados inclusive por variações locais do arranjo institucional, fatores climáticos, aspectos culturais e normas técnicas, por exemplo. Além disso, a construção de capacidades tecnológicas depende de um processo que é cumulativo e dependente de trajetória. Essa diversidade de fatores está contemplada pela abordagem do sistema nacional de inovação (NSI na sigla em inglês) em termos de fatores qualitativos e quantitativos que influenciam a criação, difusão e utilização de inovações (Freeman, 1995; Lundvall, 1992; Nelson, 1993). Ela nos serve, portanto, como referência para tratarmos os determinantes da inovação.

Nessa literatura não existe consenso sobre qual a melhor forma de estudar os NSIs empiricamente. Por um lado, há autores que defendem que a abordagem seja mantida aberta e flexível (Lundvall, 2003). Por outro lado, alguns autores, apontam a necessidade de maior rigor na definição de uma metodologia comum com base nas funções e atividades do sistema (Edquist, 2004; Liu; Wight, 2001). O conceito de NSI permanece, portanto bastante difuso, o que nos abre espaço para discuti-lo sobre diferentes perspectivas.

Embora a totalidade dos elementos desses sistemas dificilmente possa ser apreendida através de dados e tentar resumir-los inteiramente em um único indicador seria uma tarefa irrealista, indicadores sintéticos podem ser úteis (Archibugi; Coco, 2005). Tendo isso em vista, este trabalho se

propõe a realizar um exercício de desconstrução de um indicador agregado que nos permita comparar diferentes países. Para tanto, a abordagem do NSI nos serve como referência para a identificação das dimensões relevantes para compreendermos a inovação e a mudança tecnológica, considerando também a disponibilidade de dados para o maior conjunto possível de países, além de um método condizente com o aspecto sistêmico da inovação.

A seção seguinte apresenta um panorama geral de como o NSI foi abordado ao longo da literatura em termos dos indicadores para sua caracterização. Já a seção três apresenta as dimensões do indicador a ser construído neste estudo e as respectivas variáveis que as integram. Cinco dimensões serão aqui consideradas: científica, tecnológica, internacional, produtiva e infraestrutura de ICT (Tecnologias de Informação e Comunicação). Na quarta seção são apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação de técnicas de análise multivariada de dados (componentes principais e *fuzzy clusters*) para a comparação entre países. Por fim, na seção cinco são apresentadas as considerações finais.

2. Breve panorama sobre NSIs

A função primordial do NSI é a geração de inovações. Christopher Freeman (1987) teria sido o primeiro autor a utilizar o termo ao se referir ao contexto doméstico no Japão. Posteriormente, os trabalhos seminais de Lundvall (1992) e Nelson (1993) exploraram esse conceito em termos da sua dinâmica e estrutura, enquanto sistemas constituídos por uma série de componentes articulados (firmas, governos, universidades, centros de pesquisa, bancos, etc) capazes de impactar na geração de inovações. Por sua vez, as especificidades da interação entre eles definiriam arranjos distintos e, conseqüentemente, diferentes modos de inovar. Estes, por sua vez, produziriam resultados variados em termos de desenvolvimento econômico.

Na medida em que o desenvolvimento é moldado por um processo histórico, as circunstâncias às quais estão submetidos diversos países os fazem diferentes sobre vários aspectos. Elementos como a história, as instituições e os valores específicos de cada nação moldam as interações entre os atores. Já a proximidade geográfica favorece a transmissão do conhecimento que é eminentemente tácito, bem como a implementação de políticas deve ser feita dentro das fronteiras do país (Fagerberg, 1994; Freeman, 1995).

Assim sendo, por um lado, tentar produzir generalizações muito amplas para caracterizar os NSIs seria equivocado. Por estarmos tratando de um processo evolucionário e dependente de trajetória (*path-dependent*), devemos tentar explicar os arranjos de cada país considerando suas particularidades e destacando as diferenças entre eles. Indicadores econômicos tradicionais, como renda per capita, por exemplo, podem ser úteis para comparar países, mas não seriam capazes de caracterizar seu modo de inovar (Lundvall, 1992). Por outro lado, abdicar da construção de indicadores agregados negligenciaria o aspecto sistêmico da inovação e limitaria a compreensão da forma como seus determinantes se articulam (Liu, White, 2001).

Nas décadas de 1950 e 1960 a literatura empregou amplamente as estatísticas de gastos em P&D como um padrão internacional de mensuração que resumiria as atividades relacionadas ao NSI. Embora tais estatísticas refletissem os esforços inovativos do país, emprega-las como o único indicador definia os sistemas de forma muito restrita. Já entre as décadas de 1970 e 1990, o aspecto sistêmico da inovação ganhara crescente relevância na medida em que as tecnologias “genéricas” da informação, da biotecnologia e de novos materiais se difundiram (Freeman, 1995). A ênfase sistêmica teria então motivado a incorporação de novas dimensões e a busca por outros indicadores da capacidade nacional de inovar. A disponibilidade crescente de dados para um número maior de economias também teria tido papel decisivo nesse processo.

Medidas como a proporção de novos produtos no comércio internacional, as estatísticas de patentes e o número de publicações de artigos científicos foram sendo incorporadas ao longo do tempo. Ainda que esse tipo de abordagem permanecesse difusa, esforços posteriores foram revelando alguns indicadores mais recorrentes. Além dos já mencionados, temos também as estatísticas

referentes às taxas de licenciamento e pagamento de *royalties*, recursos humanos e infraestrutura de ICT, por exemplo (Archibugi; Coco, 2005).

Além disso, verifica-se também o consenso quanto à complementariedade das dimensões e fatores determinantes da geração de inovações. Isso se reflete em medidas de agregação por somatórios e regras de ponderação para médias (Archibugi; Coco, 2001). Enfatizar o aspecto sistêmico da inovação ao combinar indicadores se faz particularmente relevante quanto mais heterogêneas as economias em questão. Enquanto a comparação de sistemas muito semelhantes ficaria restrita à análise dos papéis desempenhados pelos mesmos tipos de atores, a comparação de sistemas diversos se faz possível apenas se recorrermos aos aspectos sistêmicos da sua estrutura e não aos seus componentes de forma isolada (Liu; White 2001). Diferentemente do que suporiam, por exemplo, os teóricos da contabilidade do crescimento ou dos modelos tradicionais de crescimento, os determinantes do progresso tecnológico não se encontram isolados (Fagerberg, 1994).

Por fim, devemos salientar que embora os NSIs possam adquirir formas bastante distintas, inexistem uma alternativa ótima ou uma situação de equilíbrio. Países com trajetórias de crescimento semelhantes, por exemplo, podem ter características parecidas e ao mesmo tempo desenvolver modos distintos de inovar. Já países em desenvolvimento podem apresentar arranjos distintos comparados aos países desenvolvidos, mas semelhantes entre si, compartilhando algumas particularidades relacionadas mais especificamente ao seu estágio de desenvolvimento.

Partindo dessas considerações, a seção seguinte introduz a construção do indicador proposto por este estudo, apresentando as dimensões e variáveis a serem incorporadas em um indicador geral dos NSIs.

3. Mensurando a capacidade nacional de inovar

Exploramos aqui a hipótese de que a análise do NSI não deve ficar restrita ao estudo dos aspectos e determinantes da inovação isoladamente, mas sim explorá-los em conjunto de modo a apreender as relações entre eles. Considerando as possibilidades abertas na literatura, este estudo, em primeiro lugar realiza um esforço para encontrar possíveis indicadores que incorporem variáveis referentes a cinco dimensões: científica, tecnológica, produtiva, internacional e infraestrutura de ICT. Em seguida, propõe-se um método para agregação dessas variáveis que seja capaz de incorporar o caráter sistêmico, enfatizando a interdependência e não linearidade entre os fatores considerados. Com isso, espera-se conseguir caracterizar os NSIs enquanto arranjos específicos e com modos variados de produzir inovações, estendendo nossa compreensão sobre os mesmos.

Embora nos últimos anos a disponibilidade de dados para diversos países tenha aumentado, ainda faltam informações principalmente para países em desenvolvimento. Apesar disso, buscamos aqui construir uma amostra representativa do conjunto global de NSIs. Os países considerados são bastante heterogêneos, abrangem todos os continentes, variam em tamanho e também quanto ao estágio de desenvolvimento. Todavia, algumas ressalvas quanto à aleatoriedade e representatividade da amostra devem ser feitas. No campo das ciências sociais dificilmente é possível obtermos informações completas e sem erros de medida, porém, ainda assim, as informações disponíveis continuam sendo as melhores estimativas possíveis (OECD, 2008).

Partimos de um conjunto de 117 países e 23 indicadores que potencialmente poderiam influenciar a capacidade nacional de inovar. De modo geral, economias desenvolvidas têm maior cobertura dos dados, enquanto que a disponibilidade e qualidade das informações para países em desenvolvimento são ruins. No esforço de conciliarmos o maior número possível de países com a maior quantidade de indicadores, obtemos uma amostra de 65 países e 12 indicadores.

As informações utilizadas aqui se encontram compiladas pelo Banco Mundial e integram a base *World Development Indicators* referente ao ano de 2013. O portal *Web of Knowledge* disponibiliza o banco de dados que contém informações sobre a produção científica, o *Social Citation Index Expanded*. Já informações sobre a produção tecnológica são fornecidas pelo *United*

States of Patent and Trademark Office (USPTO). Por fim, a *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)* também produz uma compilação de dados de interesse referentes à educação.

O quadro 1 apresenta as cinco dimensões consideradas na caracterização dos NSIs e os respectivos indicadores:

Quadro 1 – Indicadores para mensuração dos NSIs

Dimensões	Indicadores
Científica	<i>Artigos, matrículas no ensino superior, expectativa de vida escolar, mobilidade estudantil no exterior, gastos públicos em ensino, matrículas em curso de especialização, mestrado e doutorado.</i>
Tecnológica	Patentes, gastos em P&D.
Produtiva	Valor adicionado na indústria, valor adicionado em serviços, valor adicionado na agricultura.
Internacionalização	Exportações de alta tecnologia, entrada de IED, saída de IED, royalties recebidos, royalties pagos, <i>importações de alta tecnologia.</i>
Infraestrutura (de ICT)	Usuários de internet, <i>investimentos em energia com participação privada, investimentos em telecomunicações com participação privada, investimentos em transportes com participação privada, investimentos em água e saneamento com participação privada.</i>

Nota: Indicadores em itálico não foram incluídos na análise por falta de informações disponíveis.
Fonte: Elaboração do autor, 2014.

A dimensão científica abrange indicadores referentes à produção de conhecimento no âmbito das universidades e instituições de pesquisa. Estas esferas teriam papel crucial para o processo de inovação, sobretudo nas atividades dedicadas ao acúmulo de *capabilities* por meio de processos *de learning-by-searching* (Lundvall; Johnson, 1994). Diante disso, foram elencadas variáveis relacionadas à formação de pessoal de modo a captar o desenvolvimento de recursos humanos dentro de cada NSI. Porém elas não estavam disponíveis para um número satisfatório de países, não tendo sido incluídas na análise. Para caracterizar essa dimensão foi considerada apenas a publicação de artigos científicos. Contudo, é importante ressaltar que essa estatística é afetada pelo viés linguístico, favorecendo países de língua inglesa, bem como pela diferente propensão a publicação entre diferentes campos de pesquisa (Archibugi, 2005).

Por sua vez, a dimensão tecnológica leva em conta, primeiramente o registro de patentes no USPTO como medida da capacidade de produção tecnológica de um NSI. Elas seriam um indicador de resultado da atividade inovativa e refletiram a busca de uma vantagem econômica no emprego de novas tecnologias na esfera econômica. Entretanto, vale salientar que tal estatística sofre viés pelos mesmos problemas apontados no caso da publicação de artigos científicos (Patel; Pavitt, 1995). Já os gastos em P&D são um indicador referente aos esforços de pesquisa aplicada para a geração de inovações.

No que se refere à dimensão produtiva, são considerados aqui dados a respeito do valor adicionado na indústria, nos serviços e na agricultura. Diferentemente da participação setorial no PIB, o emprego das estatísticas de valor adicionado reflete uma medida da maturidade e do desenvolvimento setorial, o que repercute nos níveis de produtividade em cada um deles.

A internacionalização, por sua vez, seria uma dimensão referente à inserção dos NSIs nas redes globais de difusão e absorção de conhecimento. Ainda que suas estruturas e instituições tenham caráter marcadamente nacional, elas podem ser influenciadas por movimentos

globais capazes de alavancar as atividades produtivas e inovativas locais. Processos de imitação, por exemplo, seriam canais adotados para a internalização de competências estrangeiras (Carlsson, 2006). Além disso, o conhecimento, sobretudo de natureza técnica, tem se organizado cada vez mais por meio de redes internacionais integradas por multinacionais (Cantwell, 2000). Daí o emprego das estatísticas de entrada e saída de investimento estrangeiro direto (IED). São incluídos ainda o pagamento e recebimento de *royalties* e estatísticas de comércio internacional de produtos de alta tecnologia. Porém, as importações não tenham sido incluídas tendo em vista a menor cobertura dos dados.

Por fim, variáveis relativas à infraestrutura nos permitiriam fazer considerações sobre os requisitos básicos necessários para o processo de inovação. Contudo, dados referentes aos investimentos em infraestrutura básica não se encontravam disponíveis para uma amostra maior de países. Assim, apenas o número de usuários de internet foi incorporado na análise enquanto medida da infraestrutura de ICT. Esta tem sido uma dimensão recorrente nos esforços de mensuração da capacidade tecnológica dos países. Ela tem sido aqui em termos da capacidade de penetração dos serviços de internet no espaço e da disponibilidade de acesso à informação, fator relevante para a difusão e incorporação de conhecimento e tecnologia (Archibugi; Coco, 2005).

Todos os indicadores são empregados em razão de um múltiplo da população (milhões de habitantes), ou seja, numa medida de intensidade e não de grandeza, permitindo-nos comparar países de diferentes dimensões. Além disso, dada a disponibilidade dos dados, são computadas as médias dos anos de 2007 a 2010, de modo a estender a cobertura de países no período mais recente o possível.

O passo seguinte é tratar a articulação entre as dimensões descritas acima a partir de um método adequado e coerente com a noção sistêmica da inovação. Se pretendermos estudar arranjos diversos resultantes de processos evolucionários, o método utilizado não pode pressupor uma relação causal unidirecional. Como já foi abordado, uma explicação satisfatória para o processo de inovação é multicausal e deve apreender a importância relativa dos seus determinantes (Edquist, 2004). Além disso, tendo em vista a heterogeneidade dos NSIs, o método deve ser capaz também de tratar observações com alta variabilidade, bem como lidar com um conjunto amplo de variáveis correlacionadas.

Segundo esses critérios optamos pela utilização de técnicas de análise multivariada de dados. A possibilidade de emprego desse método para caracterizar a capacidade tecnológica dos países já fora apontada por Archibugi e Coco (2005) e incorporada por Fagerberg (2008) por meio de análise de fatores. Uma importante vantagem das técnicas multivariadas é que a combinação entre as diferentes dimensões e suas respectivas variáveis é menos arbitrária, uma vez que é extraída da própria estrutura dos dados.

Os resultados encontrados através da aplicação das técnicas multivariadas de componentes principais (CP) e *fuzzy clusters* são apresentados e discutidos na seção seguinte.

4. Evidências sobre os NSIs

O exercício se divide em três partes. Primeiramente serão analisados os resultados da técnica multivariada de CP, empregada para combinar diversas variáveis de diferentes dimensões em único indicador geral dos NSIs. Em seguida, com base nos componentes resultantes, serão construídos agrupamentos de países por meio da técnica de *fuzzy clusters* de modo a facilitar a identificação das estruturas descritas pelos componentes. Por fim, como de forma a apresentar um panorama geral dos NSIs considerados, os países serão ranqueados com base nos *scores* obtidos pela combinação dos componentes encontrados.

4.1 Combinações resultantes dos fatores determinantes da inovação

A técnica multivariada de CP é adequada para o objetivo de construirmos uma representação simples de um conjunto amplo de variáveis correlacionadas, reduzindo a multidimensionalidade

aocombina-las de forma mais concisa. A partir dos componentes resultantes, a informação pode ser interpretada como a “variação total” das variáveis originais (Afifi; Clark, 1996; Izeman, 2008).

A tabela 1 a seguir apresenta os resultados obtidos¹. Nela estão representados os coeficientes de correlação (*componentloadings*) entre as variáveis individuais (linhas) e os componentes (colunas). O valor dos coeficientes indica em que medida cada variável individual carrega (*loads*) o componente principal (OECD, 2008). Variáveis com coeficientes maiores tem maior peso, seja numa relação positiva ou negativa.

Tabela 1 – Resultados da análise de componentes principais

Indicadores (milhões de habitantes)	Componente 1 (C1)	Componente 2 (C2)	Componente 3 (C3)
Patentes	0.2588	-0.2192	-0.39
Artigos	0.3553	0.0624	-0.06
Gastos em P&D	0.3495	-0.0657	-0.2374
<i>Royalties</i> recebidos	0.2916	-0.3388	-0.0052
<i>Royalties</i> pagos	0.1458	-0.2465	0.5527
Entrada de IED	0.264	0.1089	0.4969
Saída de IED	0.3154	-0.0603	0.3779
Exportações de alta tecnologia	0.1033	0.6659	0.1558
Valor adicionado na indústria	0.3343	-0.017	-0.0563
Valor adicionado em serviços	0.3647	-0.0441	-0.0749
Valor adicionado na agricultura	0.2073	0.5504	-0.1647
Usuários de internet	0.3329	0.0641	-0.1803
Autovalor	6.97435	1.56646	1.38842
Diferença	540,789	0.178033	0.745926
Proporção	0.5812	0.1305	0.1157
Cumulativo	0.5812	0.7117	0.8274

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Primeiramente, analisaremos as relações de cada variável a luz dos seus coeficientes em cada um dos componentes. O componente 1 (C1) pode ser entendido como o indicador base para caracterizar os NSIs. É importante lembrar mais uma vez que sob uma perspectiva evolucionária não há um ponto ótimo para o qual se pressupõe que haja uma tendência de convergência desses sistemas. O que se propõe aqui é que ele seja utilizado como referência para orientar comparações entre diferentes características e estruturas.

C1 é o componente mais uniforme dentre os três em termos do peso de cada uma das variáveis. Além disso, todas elas compõem C1 com sinal positivo, logo são complementares para a caracterização dos NSIs, enfatizando o aspecto sistêmico da inovação. Diante disso, países que totalizaram valores mais altos em C1 são aqueles cujo NSI têm maior capacidade de geração de inovações.

Já o componente 2 (C2) caracteriza principalmente estruturas de NSIs de países em desenvolvimento. Diferentemente de C1, as variáveis não se distribuem uniformemente em C2. Ao contrário, ele apresenta uma dicotomia, evidenciando a falta de complementariedade entre alguns fatores determinantes da inovação. Nele, um conjunto de variáveis assumem coeficientes negativos, enquanto outras se mantêm com coeficientes positivos. Dentre as variáveis com sinal positivo

¹ Um critério relevante que indica a qualidade da análise de CP é a variância alta e resumida em poucos componentes. Neste estudo a aplicação dessa técnica resultou em doze componentes para explicar a totalidade da variância dos dados, dos quais os três primeiros são adequados e suficientes para o desenvolvimento uma boa análise sem se perder muita informação (Afifi; Clark, 1996; Everitt, 2005; Izeman, 2008; OECD, 2008).

destacamos artigos científicos (dimensão científica) e com sinal negativo destacamos patentes e gastos em P&D (dimensão tecnológica). A falta de complementariedade entre essas duas dimensões já foi salientada por Bernardes e Albuquerque (2003), ao verificarem que a falta de conexões entre elas seria uma característica típica de NSIs menos desenvolvidos.

Vale notar também que nesse componente a entrada de IED é positiva assim como as exportações de alta tecnologia. Tal complementariedade entre elas nos leva a supor que, num contexto global da produção, isso caracterizaria NSIs de países com inserção intermediária nas cadeias globais, atuando na produção de bens desenvolvidos externamente².

Assim como C2, o componente 3 (C3) também apresenta uma dicotomia entre os fatores determinantes da inovação. Todas as variáveis com coeficientes positivos³ dizem respeito à dimensão da internacionalização e difusão da tecnologia. Por outro lado, com valores negativos, temos variáveis enquadradas nas demais dimensões, com destaque para as dimensões tecnológica e científica. Desse modo, C3 estaria captando uma dicotomia entre a produção nacional de tecnologias e a absorção de tecnologias estrangeiras, notadamente pela sua inserção nas redes globais. O sucesso dos países em desenvolver capacidades tecnológicas estaria, portanto, fortemente associada a sua capacidade de absorção das tecnologias estrangeiras.

Tendo em vista as considerações acima, recorreremos agora aos padrões de dispersão dos países com base nos *scores* obtidos em cada componente. Os gráficos de dispersão que são apresentados a seguir auxiliam a análise sem a necessidade de identificarmos rótulos para cada componente. Além disso, facilitam a identificação de *outliers*⁴, pontos de agrupamento e outras possíveis peculiaridades na distribuição dos dados (Everitt, 2005; Izeman, 2008).

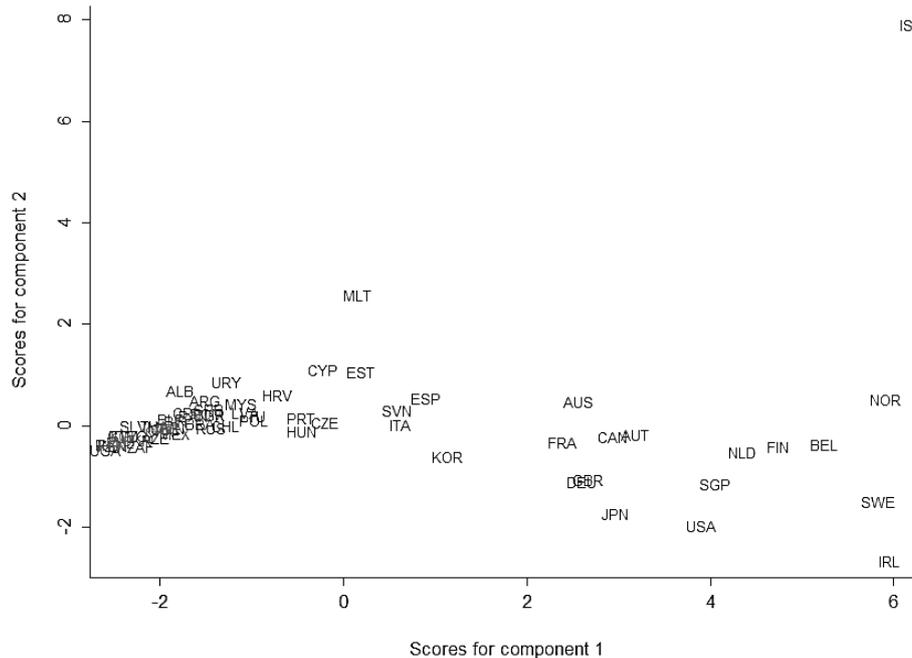
Lembrando que C1 serve de referência para avaliarmos as estruturas descritas pelos resultados da CP, o gráfico 1 mostra a dispersão dos países segundo C1 e C2.

² A inserção internacional de países caracterizados por essa estrutura seria motivada, sobretudo pela busca por vantagens locais dissociadas das competências tecnológicas, mas sim orientadas por fatores como o baixo custo da mão-de-obra, por exemplo (Dunning; Lundan, 2008).

³ São elas royalties pagas, entrada de IDE, saída de IDE e exportações de alta tecnologia, como pode ser observado na Tabela 1.

⁴ Tanto no gráfico 1 quanto no gráfico 2 será possível verificarmos a presença de alguns *outliers*, notadamente Islândia (ISL), Singapura (SGP), Bélgica (BEL) e Irlanda (IRL). A existência desses outliers pode ser atribuída ao fato de que eles não puderem ser bem enquadrados nas estruturas descritas pelos componentes a partir das variáveis consideradas.

Gráfico 1 – C1 x C2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

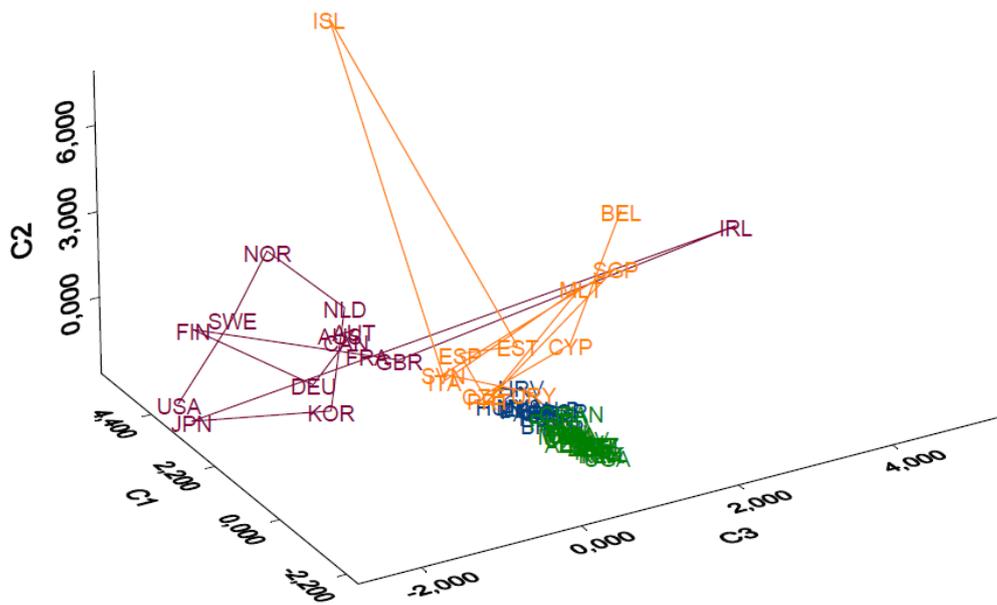
É possível observar que os países variam principalmente ao longo do eixo C1, enquanto a dispersão é menor no eixo C2. Isso se deve ao fato de que maior parte da variabilidade é explicada pelo primeiro componente (58%), enquanto o segundo é um componente residual que capta uma parcela menor da variabilidade dos dados (13%).

Observando o gráfico, alguns pontos de agrupamentos saltam aos olhos. O primeiro deles é composto por países que apresentam valores altos em C1 (acima de 2) e valores negativos (ou muito próximos de zero) em C2. Outro agrupamento intermediário pode ser observado para aqueles países que totalizaram valores aproximadamente entre -1 e 1 em C1 e ao redor de zero em C2. Já um terceiro ponto de agrupamento pode ser identificado para valores abaixo de -1 em C1 e também ao redor de zero em C2.

Considerando esses agrupamentos, podemos observar que C1 foi capaz de diferenciar os NSIs entre aqueles comparativamente mais desenvolvidos e menos desenvolvidos, apresentando-nos um panorama geral. Entretanto, ele não é capaz de captar toda a variabilidade desses sistemas, de modo que C2 se faz necessário para complementar a análise. Como podemos notar, ele é relevante principalmente para distinguir os países menos desenvolvidos dos três últimos agrupamentos mencionados acima, diferenciando aqueles acima e abaixo de zero.

Por sua vez, C3 é também um componente residual (explica 12% da variância dos dados). A relação entre C1 e C3 pode ser visualizada no Gráfico 2.

Gráfico 3 – Clusters formados a partir dos componentes principais



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

O resultado dessa análise, portanto, é a reunião de NSIs semelhantes em um mesmo grupo, com base na articulação entre os elementos do sistema. O *cluster 1*, identificado na cor roxa, reúne aqueles países com NSIs mais avançados e desenvolvidos em termos da sua maior produtividade, avançada capacidade científica e tecnológica e ativa participação nos fluxos internacionais de difusão de inovações, tanto através da sua inserção internacional quanto pela sua infraestrutura de ICT. Esse resultado é fruto não só da magnitude dos determinantes da inovação nesses países, como também da complementariedade e do adensamento das relações entre eles.

Como indicativo disso temos, primeiramente a média mais alta em C1. Conforme discutido anteriormente, C2 e C3 seriam menos relevantes para explicar esse *cluster*, contudo é possível notar que a média bem abaixo de zero em C2 tende no sentido da dimensão tecnológica, enquanto em C3 ela tende no sentido da produção interna de tecnologias.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos componentes principais por *cluster*

	C1		C2		C3	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
<i>Cluster 1</i>	3.648	1.497	-0.838	0.92	-0.779	1.974
<i>Cluster 2</i>	1.311	2.427	1.060	2.332	0.609	1.389
<i>Cluster 3</i>	-1.297	0.419	0.247	0.217	-0.045	0.123
<i>Cluster 4</i>	-2.115	0.357	-0.194	0.174	0.184	0.105

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Já o *cluster 2*, de cor laranja, reúne NSIs intermediários e que compartilham características tanto de sistemas desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Isto é, têm uma estrutura que se aproxima daquelas de países desenvolvidos, mas com uma articulação ainda fraca entre ciência e tecnologia, bem como uma inserção internacional intermediária, sem maior domínio de capacidades necessárias para a criação de inovações internamente. Se por um lado, ele totaliza a segundo maior média em C1, por outro em C2 e C3 sua média tem o comportamento contrário dos países do *cluster 1*. Podemos notar também que se trata do *cluster* com a maior variabilidade interna e que incorpora os *outliers* identificados nos gráficos de dispersão.

Por sua vez, os dois últimos *clusters* reúnem os NSIs relativamente mais atrasados tanto no que se refere ao desenvolvimento dos determinantes da inovação quanto à interação ainda incipiente entre eles. Como evidência disso temos as médias mais baixas obtidas no componente 1, ainda que os países pertencentes ao *cluster* 3, em azul, tenham apresentado, em média, um desempenho um pouco melhor que aqueles do *cluster* 4, em verde. Esse resultado aponta na direção de estruturas caracterizadas por infraestruturas científicas e tecnológicas mais desarticuladas, menor produtividade na indústria e serviços, bem como menor capacidade de atuar na difusão e absorção e inovações.

Como já observado nos gráficos anteriores, esses dois *clusters* poderiam ser mais bem diferenciados por C2 e C3, os quais descrevem estruturas típicas de países menos desenvolvidos. Entretanto, a caracterização desses dois últimos *clusters* é especialmente difícil tendo em vista o caráter residual dos dois componentes que os diferenciam. Embora o exercício realizado aqui sugira que eles sejam segmentados em grupos diferentes, falta clareza sobre quais seriam as estruturas predominantes em cada um deles. Tendo em vista o caráter sistêmico da inovação, o que a agregação das variáveis reflete é que as estruturas menos desenvolvidas estariam sendo caracterizadas, basicamente pela falta de articulação entre os componentes do sistema.

Conforme já foi discutido, não se espera que um conjunto completo de informações possa ser combinado de modo a descrever a capacidade inovativa e tecnológica de um país. Contudo, nos propomos a avançar na busca de um indicador sintético. Em conjunto, os três componentes obtidos aqui correspondem a uma parcela considerável da variância total explicada (83%). Tendo isso em vista, será proposta a seguir uma forma de combiná-los de forma a obtermos um panorama geral que será ilustrado na forma de um *ranking* de países.

4.3 Ordenando os NSIs

O propósito da construção do *ranking* não é mapear as semelhanças e diferenças entre países, mas sim ordená-los. Desse modo, podemos ter um parâmetro de referência para avaliar o nível de desempenho de um NSI em comparação aos demais em termos da sua colocação. Para tanto precisamos de uma medida única capaz de diferenciar aqueles no topo e no fim do *ranking*.

Até aqui partimos de C1 como base para caracterizar os NSIs, sendo que *scores* mais altos corresponderiam aos países mais desenvolvidos, isto é, aqueles agrupados no *cluster* 1. Já em C2 e C3 tais países obtiveram valores bem abaixo de zero. Por outro lado, países com valores baixos em C1, como é o caso daqueles nos *clusters* 3 e 4, obtiveram valores altos em C2 e C3. Ou seja, o primeiro componente, que reflete estruturas desenvolvidas, aponta na direção contrária dos dois últimos, que descrevem estruturas típicas de países em desenvolvimento. Sendo assim, para obtermos uma medida capaz de ordenar todos os países da nossa amostra propomos combinar os três componentes, subtraindo dos *scores* contabilizados em C1 os resultados de C2 e C3. Na tabela 3 é apresentada a classificação resultante.

Quadro 2 – Ranking geral dos NSIs

Colocação	País	Cluster	Colocação	País	Cluster
1°	Suécia	(1)	33°	Sérvia	(3)
2°	Estados Unidos	(1)	34°	México	(4)
3°	Japão	(1)	35°	Azerbaijão	(4)
4°	Finlândia	(1)	36°	Argentina	(3)
5°	Noruega	(1)	37°	Bulgária	(3)
6°	Países Baixos	(1)	38°	Tunísia	(4)
7°	Alemanha	(1)	39°	Islândia*	(2)
8°	Reino Unido	(1)	40°	China	(4)
9°	Canadá	(1)	41°	Marrocos	(4)

Colocação	País	<u>Cluster</u>	Colocação	País	<u>Cluster</u>
10°	Áustria	(1)	42°	Colômbia	(4)
11°	França	(1)	43°	Bósnia e Herzegovina	(4)
12°	Coréia do Sul	(1)	44°	África do Sul	(4)
13°	Austrália	(1)	45°	Uruguai	(2)
14°	Irlanda*	(1)	46°	Belarus	(3)
15°	Singapura*	(2)	47°	Costa Rica	(3)
16°	Bélgica*	(2)	48°	Chipre	(2)
17°	Itália	(2)	49°	Egito	(4)
18°	Eslovênia	(2)	50°	Tailândia	(4)
19°	Espanha	(2)	51°	Panamá	(4)
20°	República Tcheca	(2)	52°	Ucrânia	(4)
21°	Hungria	(3)	53°	Filipinas	(4)
22°	Portugal	(2)	54°	Quênia	(4)
23°	Polônia	(3)	55°	Guatemala	(4)
24°	Lituânia	(3)	56°	Uganda	(4)
25°	Estônia	(2)	57°	Indonésia	(4)
26°	Letônia	(3)	58°	Paquistão	(4)
27°	Croácia	(3)	59°	Índia	(4)
28°	Malásia	(3)	60°	Quirguistão	(4)
29°	Rússia	(4)	61°	El Salvador	(4)
30°	Brasil	(3)	62°	Albânia	(3)
31°	Chile	(4)	63°	Malta	(2)
32°	Romênia	(3)			

Nota: * indica países identificados como *outliers* nos gráficos de dispersão.

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Além da colocação dos países é apresentado também o *cluster* no qual cada um deles foi agrupado. Podemos observar que não seria possível segmentar o *ranking* e definirmos recortes claros para as colocações dos países com base nos *clusters*. Observando a tabela 3 temos que *cluster* 1 e, em alguma medida, também o *cluster* 4, têm as colocações mais concisas ao longo do ranking, nos primeiros e nos últimos colocados, respectivamente. Já os *clusters* 2 e 3 são os mais dispersos ao longo das posições intermediárias e, nesse sentido, a classificação de torna ambígua (por exemplo temos países do *cluster* 3 mais bem colocados que países do *cluster* 2 e vice-versa). Isto é, mesmo países semelhantes enquadrados no mesmo *cluster* podem ter resultados diferentes nos seus NSIs, o que os colocam em posições relativas distintas no ranking.

Contudo, devemos lembrar que a classificação dos NSIs envolve um alto grau de complexidade, principalmente ao compararmos países tão heterogêneos. Além disso, a construção dos indicadores por meio da análise de CP considera não só a magnitude de cada uma das variáveis como também sua relação em termos de uma dinâmica sistêmica. A classificação caminha daqueles sistemas mais dinâmicos e complexos em direção àqueles cujos elementos são menos integrados. Ainda que estes possam apresentar um bom desempenho em dimensões específicas ou em variáveis específicas dentro de cada uma delas, em seu conjunto, elas não se reforçam de modo a atingir o mesmo patamar dos primeiros colocados.

Portanto, considerando que os indicadores construídos refletem razoavelmente a concepção de NSI adotada como referência, podemos concluir que os países estariam organizados no *ranking* acima em termos da sua capacidade de geração de inovações, sua utilização e sua difusão. Para produzir essa classificação o enfoque sistêmico foi especialmente relevante, uma vez que a análise

de CP nos permitiu inferir sobre a relação entre os elementos dos sistemas e o efeito disso em termos do nível de desenvolvimento relativo desses NSIs.

5. Considerações finais

Na medida em que a inovação envolve um conjunto de fatores articulados e em interação, recorreremos a uma abordagem sistêmica e evolucionária. Conhecer e mapear o conjunto completo dos fatores que estão engajados no processo de inovação não seria uma tarefa realista, entretanto é possível buscarmos identificar alguns aspectos chave que permitam melhorar a compreensão da sua dinâmica. Conforme discutido, a construção de um indicador conciso pode ajudar a captar as diferenças tecnológicas como fonte de explicação para a diferença entre os níveis de crescimento e desenvolvimento entre os países.

Ao empregarmos a análise de CP para a construção de um indicador geral dos NSIs enfatizou-se o caráter sistêmico da inovação, segundo o qual todos os componentes do NSI reforçam uns aos outros. Dado que estamos tratando de relações multicausais e que se retroalimentam, uma vez que seus componentes estejam bem articulados, todo o sistema se reforça para avançar na execução da sua função primordial que é a geração de inovações. Por outro lado, quando ele está desarticulado, os *feedbacks* seriam fracos e, portanto, não seriam capazes de impulsioná-lo com a mesma intensidade.

O resultado da análise nos permite captar essas características. Enquanto C1 incorpora todas as variáveis de forma homogênea e atribui *scores* mais altos aos NSIs mais desenvolvidos, C2 e C3 caracterizam estruturas contrárias, nas quais os pesos relativos de cada variável revelaram falta de complementariedade entre as diferentes dimensões consideradas. Estamos aqui nos referindo particularmente à dicotomia entre ciência e tecnologia e entre a dimensão internacional e a local, respectivamente. Ainda que tais estruturas sejam descritas por componentes residuais, elas são relevantes não só para explicar a variabilidade total dos dados, como indicam possíveis caminhos para o desenvolvimento desses sistemas, sejam eles pela promoção da maior articulação entre suas dimensões e também pela absorção e internalização de tecnologias e *capabilities* externas através da sua inserção em redes globais.

O panorama geral do desempenho dos NSIs pôde ser visualizado a partir do *ranking*. Em relação aos *rankings* construídos nos quatro estudos comparados por Archibugi e Coco (2005), o *ranking* aqui apresentado muito se assemelha aos demais com base nos 38 países em comum entre eles. A principal diferença entre o *ranking* construído aqui e os demais foi a incorporação da ênfase sistêmica da inovação pela escolha do método multivariado de CP, extraíndo da própria estrutura dos dados a importância relativa das variáveis incorporadas.

O presente trabalho apresentou um exercício inicial no emprego dessa técnica e pode ser expandido na medida em que mais informações estiverem disponíveis para um maior número de países. Estudos posteriores também podem complementar a análise comparando essas estruturas ao longo do tempo, ou incorporando dados desagregados que abranjam em maior detalhe a composição setorial dos países, sua intensidade tecnológica, áreas de *expertise* ou agendas nacionais de ciência e tecnologia, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVITZ, Moses. Catching up, forging ahead, and falling behind. **The Journal of Economic History**, v.46, n.2, 1986, p. 385-406.
- ABRAMOVITZ, Moses. Resource and output trends in the United States since 1870. **American Economic Review**, v.46, n.2, 1956, p.5-23.
- ARCHIBUGHI, Daniele; COCO, Alberto. Measuring technological capabilities at the country level: a survey and a menu for choice. **Research Policy**, v.34, p.175-194.
- AFIFI, Abdelmonem; CLARK, Virginia. **Computer- aided multivariate analysis**. Nova York: Chapman & Hall, 1996.
- BARTHOLOMEW, Susan. National systems of biotechnology innovation: complex interdependence in the global system. **Journal of International Business Studies**, v.2, n.2, 1997, p. 241–266.
- BERNARDES, Américo.; ALBUQUERQUE, Eduardo. Cross- over, thresholds, and interactions between science and technology: lessons for less-developed countries. **Research Policy**, v.32, p. 865-885, 2003.
- CANTWEL, John. A survey of theories of international production. In: PITELIS, Christos N.; SUGDEN, Roger. **The nature of the transnational firm**. Nova York: Routledge, p.10-57, 2000.
- CARLSSON, Bo. Internationalization of innovation systems: a survey of the literature. **Research Policy**, v.35, p.56-67, 2006.
- DUNNNG, John; LUNDAN, Sarianna. **Multinational enterprises and the global economy**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2008.
- EDQUIST, Charles. Systems of innovation: perspectives and challenges. In: FAGERBERG, Jan; MOWERY, David C.; NELSON, Richard. **The oxford handbook of innovation**. Oxford: Oxford University Press, p. 181-208, 2004.
- EVERITT, Brian. **An R and S-PLUS[®] companion to multivariate analysis**. London: Springer, 2005.
- FAGERBERG, Jan. Technology and international differences in growth rates. **Journal of Economic Literature**, v.31, p.1147-1175, 1994.
- FAGERBERG, Jan.; SHROLEC, Martin. National innovation systems, capabilities and economic development. **Research Policy**, v.37, p.1417-1435, 2008.
- FRANSMAN, Martin. Is national technology policy obsolete in a globalized world? The Japanese vision. In: FRANSMAN, Martin. (Ed.) **Visions of innovation: the firm and Japan**. Oxford: Oxford University Press, p.167–201, 1999.

FREEMAN, Christopher. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. Londres: Frances Printer, 1987.

FREEMAN, Christopher. The national system of innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v.19, p.5-24, 1995.

FREEMAN, Chris.; SOETE, Luc. **A economia da inovação industrial**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

GONZALES, Maria; SCHIPKE, Alfred. Bankers on the Beach. **Finance and development**, v.48, n.2, jun. 2011, p. 42-45.

HAIR, Joseph; ANDERSON, Rolph; TATHAM, Ronald; BLACK, William. **Análise multivariada de dados**. São Paulo: Bookman, 2005.

IZEMAN, Alan J. **Modern multivariate statistical techniques**: regression, classification, and manifold learning. Nova York: Springer, 2008.

KING, Robert; LEVINE, Ross. Finance and growth: Schumpeter might be right. **Quarterly Journal of Economics**, v.108, n.3, 1993, p.717–737.

LEVINE, Ross. Financial development and economic growth: views and agenda. **Journal of Economic Literature**, v.35, 1997, p.688–726.

LEVINE, Ross; ZERVOS, Sara. Stock markets, banks, and economic growth. **American Economic Review**, v.88, 1998, p.537-558.

LIU, Xielin, WHITE, Steven. Comparing innovation systems: a framework and application to China's transitional context. **Research Policy**, v.30, 2001, p.1091–1114.

LUNDEVALL, Bengt- Åke. **National innovation system**: analytical focusing device and policy learning tool. Working Paper. Swedish Institute for Growth Policy Studies. 2007.

LUNDEVALL, Bengt- Åke. National innovation systems: history and theory. **Working Paper. Aalborg University**. 2003.

LUNDEVALL, Bengt-Åke. **National systems of innovation**: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. Londres: Pinter, 1992.

LUNDEVALL, Bengt-Age; JOHNSON, Björn. The learning economy. *Journal of Industry Studies*, v.1, n.2, 1994, p23-42.

METCALFE, John S. **Innovation, competition and enterprise**: foundations for economic evolution in learning economics. Discussion Paper. University of Manchester. 2005.

MINGOTI, Sueli. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.

NELSON, Richard. **National systems of innovation**: a comparative analysis. Oxford: Oxford University Press, 1993.

NIOSI, Jorge; BELLON, Bertrand. The global interdependence of national innovation systems: evidence, limits, and implications. **Technology in Society**, v.16, n.2, 1994, p.173–197.

NIOSI, Jorge; BELLON, Bertrand. The globalization of national innovation systems. In: MOTHE, John; PAQUET, Gilles (Eds). **Evolutionary economics and the new international political economy**. Nova York: Pinter, p. 1996, 138–159.

NIOSI, Jorge; MANSEAU, André; GODIN, Benoit. **Canada's national system of innovation**. Montreal: McGill-Queen's University Press, 2000.

OECD. **Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide**, 2008. Disponível em: <<http://www.oecd.org/std/clits/42495745.pdf>> Acesso em: 20 mai. 2013.

PATEL, Pari; PAVITT, Keith. Patterns in technological activity: their measurement and interpretation. In: STONEMAN, Paul (Ed). **Handbook of the economics of innovation and technological change**. Oxford: Blackwell, 1995.

SCHUMPETER, Joseph A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

SCHUMPETER, Joseph A. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

UNCTAD. UNCTADstat. Disponível em: <<http://unctadstat.unctad.org/ReportFolders/>> Acesso em 22 mai 2013.

UNITED STATES PATENTS AND TRADEMARK OFFICE. Patent counts by country/state and year utility patents January 1, 1963 - December 31, 2010. Disponível em <<http://www.uspto.gov>>. Acesso em: 01 jun 2012.

WEB OF SCIENCE. Science Citation Index Expanded (SCIE). In: Web of knowledge. Disponível em: <<http://apps.webofknowledge.com/>> Acesso em: 01 jun. 2012.

WORLD BANK. World development indicators 2013. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators/>> Acesso em: 18 mai. 2013.