

Investigando interação e mútua determinação entre ciência e tecnologia

Catari Vilela Chaves^{*}

Sueli Moro^{**}

RESUMO

A literatura sobre economia da ciência e tecnologia (C&T) sugere que o desenvolvimento tecnológico depende da ampliação das fronteiras institucionais entre universidades, institutos de pesquisas, firmas industriais, sistema financeiro, e que a ciência lidera e é também seguidora da tecnologia. A inovação médica, em particular, é muito dependente de pesquisas científicas. Estas representam fontes de informações que impulsionam o setor produtivo que, por sua vez, introduz uma série de questões que motivam os pesquisadores, na contínua busca de compreenderem como o organismo humano reage a determinados produtos e terapias. Este artigo analisa o padrão de interação entre C&T para o sistema nacional de inovação (NSI) e para o sistema de inovação setorial em saúde. Os modelos de dados em painel e de equações simultâneas foram estimados para verificar as interações entre C&T. A hipótese básica sobre existência de determinação recíproca entre C&T foi confirmada, significando que a ciência impulsiona a tecnologia e que a tecnologia também exerce influência sobre o desenvolvimento científico. Os modelos estimados, que utilizam dados de artigos e patentes como *proxies* de ciência e tecnologia, representam apenas a ponta do *iceberg* relativo a um arranjo institucional complexo e multifacetado, que é o NSI.

Palavras-chave: sistema nacional de inovação; sistema de inovação em saúde

Área de classificação da ANPEC: 8 – Economia Industrial e da Tecnologia

ABSTRACT

The literature about the economics of science and technology (C&T) suggests not only that the technological innovation demands the expansion of the institutional borders between universities, research institutes, industrial firms and the financial system, but also that science leads as well as follows technology. Medical innovation, particularly, is very dependent on scientific research, which represents a source of information which in turn move the productive sector. The latter introduces a series of questions that motivate the researchers in their attempt to understand how to human body reacts to certain products and therapies. This article analyses the pattern of C&T interaction for both the national system of innovation (NSI) and the health innovation system. The panel data and simultaneous equations models analyze the interactions between C&T. The basic theory about the existence of a mutual sense of determination between them has been confirmed, which means that science moves technology and technology also influences scientific development. The estimated models, which use data from articles and patents as proxies of science and technology, represent just the tip of the iceberg related to a multifaceted and complex institutional arrangement, the NSI.

Key words: national system of innovation; health innovation system.

JEL Classification: O30; I10.

^{*} Doutoranda do Cedeplar-UFMG e Pucminas.

^{**} Professora adjunta do Cedeplar-UFMG.

1 – Introdução

A relação entre ciência e tecnologia é altamente interdependente e o fluxo de informações entre ambas é dinâmico. Supõe-se que essa relação de determinação recíproca esteja vinculada a estágios de desenvolvimento econômico. Por um lado, em países desenvolvidos supõe-se que o padrão de interação entre ciência, tecnologia e nível de desenvolvimento deva ser completo, denotando a existência de mecanismos de *feedback* entre as três esferas. Isso significa que a ciência determina e é determinada pela tecnologia e pelo desenvolvimento econômico. Raciocínio análogo aplica-se à tecnologia e desenvolvimento. Por outro lado, acredita-se que nos países em desenvolvimento o conjunto de interações esteja incompleto ou ainda em formação.

Bernardes & Albuquerque (2003) identificaram três grupos de países com características semelhantes a partir das estatísticas de artigos e patentes, amplamente utilizadas na literatura como *proxies* de ciência e tecnologia, para o sistema nacional de inovação (NSI).

Segundo os autores, os países menos desenvolvidos não produzem artigos e/ou patentes e, praticamente, não há articulação entre as esferas científica e tecnológica. Isso significa que o setor produtivo não se beneficia dos avanços científicos. Em termos de C&T, apenas a produção científica contribui para o crescimento econômico. Este depende de outros fatores, como trabalho, disponibilidade de matérias-primas, condições de saúde da população, distribuição de renda, etc. Os países que se enquadram nessa categoria são classificados como pertencentes ao regime I. Para os países em desenvolvimento, artigos e patentes são produzidos de forma sistemática, mas as interações entre C&T ainda não estão totalmente consolidadas. No entanto, pode-se perceber contribuições da produção científica e da tecnológica para o processo de crescimento econômico. Os países que possuem essas características pertencem ao regime II. Finalmente, os países desenvolvidos possuem infra-estrutura científica e tecnológica bem consolidada, existem mecanismos de *feedback* entre ambas as dimensões e interações entre C&T com a esfera econômica. Esses países pertencem ao regime III.

O conceito de sistema nacional de inovação (NSI) é utilizado para organizar a discussão teórica. Este envolve diversos componentes, como as firmas e seus departamentos de P&D, universidades e institutos de pesquisas, instituições de educação, sistema financeiro, setor governamental, etc., sendo os níveis de interações entre esses componentes vinculados aos estágios de desenvolvimento dos países. Ainda que seja correto afirmar que as conexões entre C&T diferem entre os diversos setores componentes do NSI, supõe-se que, para o setor saúde, o elo entre essas variáveis seja forte, pois este é um setor altamente ligado à ciência.

Este artigo analisa o padrão de comportamento da relação entre C&T e identifica aspectos comuns entre o sistema de inovação e o sistema de inovação setorial em saúde. Para avaliar essas interações, utilizam-se dados de artigos científicos e patentes para dois conjuntos. O primeiro conjunto refere-se ao sistema de inovação e é composto por 191 países. O segundo conjunto refere-se ao setor saúde e é composto por 154 países. Como as informações para os países estão disponíveis em três períodos distintos – 1981, 1991 e 2001 – será possível utilizar o modelo de dados em painel, que combina informações de unidades de *cross-section* com séries temporais e verificar o padrão de determinação unidirecional na relação entre ciência e tecnologia ao longo do tempo. Para avaliar o sentido de determinação recíproca entre ciência e tecnologia, um modelo de equações simultâneas será estimado para o ano de 2001.

Considerando que a ciência pode ser tanto “seguidora” como “líder” do desenvolvimento tecnológico (ROSENBERG, 1982) e que a natureza dos *feedbacks* entre essas variáveis é bastante complexa, o modelo especificado analisará o sentido de determinação da ciência como dependente da tecnologia e vice-versa. Portanto, a hipótese básica do artigo é verificar se existe sentido de determinação recíproca entre ciência e tecnologia, o que significa que a ciência impulsiona a tecnologia e que a tecnologia também exerce influência sobre o desenvolvimento científico.

O modelo de C&T analisado neste artigo, que utiliza dados de artigos e patentes, representa apenas a ponta do *iceberg* relativo a um arranjo institucional complexo e multifacetado, que é o NSI. Por isso, na análise de dados em painel e de equações simultâneas, ressaltou-se que os resultados referiam-se

apenas às características da interação entre C&T, representada por artigos e patentes, do conjunto de países que compõem os regimes II e III.

Além da introdução, o artigo possui mais cinco seções. A segunda aborda alguns fundamentos teóricos sobre a interação entre ciência e tecnologia. A terceira, apresenta a metodologia da pesquisa, focalizando a base de dados e os modelos econométricos. A quarta e a quinta especificam as equações de ciência e tecnologia para o sistema nacional de inovação e para o sistema de inovação setorial em saúde, bem como descrevem os principais resultados das estimativas. A sexta seção conclui o trabalho.

2 – Fundamentos teóricos sobre a interação entre ciência e tecnologia

Em excelente contribuição na área de economia da ciência e tecnologia, Rosenberg (1990) investiga os motivos que levam as firmas a investirem em pesquisa. Sua principal conclusão é de que as interações e *feedbacks* entre C&T são tão fortes que as firmas passam a investir em ciência básica como forma de participar de uma rede de informações mais ampla. Na verdade, a maneira que as firmas encontram de permanecerem ligadas a essa rede é realizando pesquisa. A pesquisa básica é fundamental para monitorar e avaliar o desenvolvimento científico e tecnológico realizado fora da firma. Ainda que parcela expressiva das pesquisas seja feita nas universidades, as firmas necessitam de uma equipe de pesquisadores internos para, no mínimo, absorverem o conhecimento gerado em outros centros.

Klevorick e colaboradores (1995) investigam o papel da ciência na determinação de oportunidades tecnológicas para o setor industrial. Entre 1983-84, pesquisadores da Universidade de Yale encontraram resultados interessantes sobre a relação entre C&T, dando suporte à hipótese de que o conhecimento influencia e impulsiona o progresso tecnológico.

A literatura sobre economia da ciência e tecnologia discute o conceito de sistema nacional de inovação em termos agregados e amplia esse conceito para abordar as diferenças intersetoriais nas relações entre C&T, pois o padrão de interação entre os diferentes setores não é uniforme (MEYER-KRAHMER & SCHMOCH, 1998).

Seguindo a orientação conceitual de desagregar o NSI por setores, um trabalho importante, que reforça o papel e a diversidade da interação entre C&T, é o de Pavitt (1991). O autor mostra que, se por um lado, em algumas indústrias como química e medicamentos, há forte ligação da tecnologia com a ciência básica, por outro lado as indústrias de materiais eletrônicos estão vinculadas com pesquisas mais aplicadas, como, por exemplo, na área de física. Em outras indústrias – transportes e mecânica – a ligação com a ciência é bem mais frágil. “A solução de problemas práticos é o principal objetivo da indústria” (MEYER-KRAHMER & SCHMOCH, 1998). Nesse sentido, fica evidente que, dependendo do setor de atividade, a ciência é um insumo fundamental para a tecnologia. Mais importante do que isso, Pavitt cita dois outros elos de ligação entre C&T: 1) treinamento e prática em pesquisa; 2) aplicações não planejadas, realizadas sem qualquer planejamento anterior ou aplicação previamente definida.

Narin e colaboradores (1997) estudam detalhadamente a contribuição da ciência para o desenvolvimento industrial, utilizando o número de citações de artigos científicos nos documentos de patentes, e chegam a resultados interessantes. Usam o sistema de patentes americano, *United States Patents and Trademark Office* (Uspto), como representativo da tecnologia americana. Através de uma amostra de mais de 100.000 referências científicas em patentes, mostram que a ciência pública predomina como base científica das patentes industriais. No setor de medicamentos, por exemplo, 50% das citações referem-se à ciência pública americana; 33% são de ciência estrangeira, a maioria produzida pelo setor público; apenas 17% das referências são de artigos gerados pela própria indústria americana.

Nelson (1995) e Gelijns & Rosenberg (1995) destacam a importância da ciência para dar sustentação ao desenvolvimento tecnológico (e vice-versa) no setor saúde, fazendo com que C&T tornem-se verdadeiramente interdependentes.

Para Gelijns e Rosenberg, a tecnologia médica é considerada como um elemento crucial para melhorar a qualidade da saúde. A inovação médica é impulsionada por avanços no conhecimento científico em outras áreas, como engenharia, o que caracteriza o setor saúde como dependente de pesquisas

interdisciplinares. Outro aspecto é que a inovação depende da interação dos centros médicos acadêmicos com as firmas industriais, para o desenvolvimento e comercialização de tecnologia. Essas interações são complexas e multifacetadas, transcendendo o conceito de divisão normal do trabalho entre universidades e firmas industriais.

Em última instância, as inovações médicas são altamente dependentes do desenvolvimento científico em diversas áreas de conhecimento e dos arranjos institucionais entre as entidades envolvidas com C&T no setor.

Segundo Gelijns (1990), o desenvolvimento tecnológico em saúde passa por vários estágios. Os agentes químicos ou biológicos, equipamentos ou procedimentos médicos são testados durante longo tempo e sofrem sucessivas modificações antes de serem colocados no mercado. Acrescente-se que as novas tecnologias nessa área proporcionam muitos benefícios, mas envolvem também elementos de risco. Os efeitos colaterais da tecnologia médica são extremamente delicados, pois afetam a vida dos seres humanos. Assim, para diminuir o risco associado às novas tecnologias, estas ficam sujeitas a contínuas reavaliações clínicas. Considerando-se a complexidade do processo de inovação tecnológica na área, uma estrutura institucional diversificada foi montada, envolvendo as universidades, instituições de pesquisa, hospitais, governo, etc., para articular o processo de desenvolvimento no setor. Em consequência, a “transferência da pesquisa para a prática clínica é influenciada por decisões inter-relacionadas de um grande número de indivíduos e instituições” (p. 151). Em síntese, a pesquisa médica é transferida para a prática clínica e esta é fundamental para o desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico. Dado o caráter interativo do processo, a análise pode também ser realizada de maneira inversa, pois há um sentido de determinação recíproco entre os vários elementos do sistema de inovação em saúde.

Albuquerque e Cassiolato (2002), estudando o sistema de inovação no setor saúde de países desenvolvidos, destacam a importância do complexo médico-industrial, que envolve a interação entre a assistência médica, as redes de formação profissionais (escolas, universidades), a indústria farmacêutica, a indústria produtora de equipamentos médicos e instrumentos de diagnóstico. Essa estrutura institucional é responsável pela geração de fluxos de informações entre C&T, que impulsionam o sistema de inovação do setor. Agregando ao papel do complexo médico-industrial a contribuição dos hospitais e do governo, os autores concluem que o setor saúde pode ser considerado como “fortemente vinculado à ciência” e que há fortes conexões entre C&T no setor.

Segundo Albuquerque (2004, RP I), a infra-estrutura científica proporciona um fluxo de informações que direciona o processo inovativo no setor, contribuindo para aperfeiçoar a prática médica e melhorar as condições de saúde através da introdução de novos medicamentos, equipamentos, procedimentos, etc. A prática médica e a atuação do setor saúde em geral proporcionam um fluxo de informações no sentido inverso, constituindo um “enorme e crescente repositório de questões, achados empíricos e práticas bem-sucedidas que precisam ser explicadas e compreendidas” (p. 1).

Conclui-se que a relação entre C&T possui características diferenciadas entre os diversos setores. No caso da saúde, em particular, o elo parece ser muito estreito, tendo em vista a complexidade das patentes, o que faz com que o setor seja altamente dependente da ciência. A próxima seção será dedicada a explorar o sentido de determinação entre C&T para o setor saúde e para o NSI.

3 – Metodologia

3.1 - Base de dados

3.1.1 – Indicadores de produção científica

Os dados sobre artigos científicos foram fornecidos pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) a partir da base do *Institute for Scientific Information* (ISI), composto pelo *Science Citation Index Expanded* (SCI), *Social Sciences Citation Index* (SSCI) e *Arts & Humanities Citation Index* (A&HCI). São utilizados como *proxies* da produção científica.

Para analisar a infra-estrutura científica por país, serão utilizadas todas as disciplinas referentes ao sistema nacional de inovação (NSI) e as disciplinas que se relacionam ao setor saúde. Das cento e quatro disciplinas enumeradas pelo ISI, quarenta e sete são relacionadas à saúde (ver quadro 1.A do anexo). As informações estão disponíveis para os períodos de 1981, 1991 e 2001. A base de dados sobre artigos fornecidos pelo MCT inclui 108 países para o ano de 1981; 100 países em 1991 e 118 países em 2001. Considerando as modificações geopolíticas ocorridas nesse período, alguns ajustes foram realizados para compatibilizar as séries nos três períodos analisados.

Como a unificação da Alemanha ocorreu em 1991, optou-se por agregar os dados de publicações da Alemanha Ocidental e da Alemanha Oriental em 1981. Em 1991, não foram contabilizados dados para a Tchecoslováquia. Em 1994 esse país foi dissolvido e foram criadas a República Tcheca e a Eslováquia. Por isso, excluiu-se a Tchecoslováquia, mas mantiveram-se os países resultantes de seu desmembramento em 2001. Quanto à antiga URSS, não há registros de artigos na base do MCT para 1981 e sim para alguns de seus países. Em 1991, não há dados para a URSS ou para seus países. Em 2001, há dados sobre artigos científicos para alguns países resultantes de seu desmembramento, razão pela qual esses países foram incluídos no conjunto para o referido ano: Armênia, Azerbaijão, Belarus, Estônia, Cazaquistão, Quirziquistão, Lituânia, Rússia, Ucrânia e Usbequistão. A Iugoslávia também foi desmembrada, mas, ao contrário da antiga URSS, os dados de artigos foram contabilizados para os três períodos. Assim, o país foi mantido em 1981, 1991 e 2001; em 2001 foram adicionadas Bósnia e Herzegovina, Croácia, Macedônia e Eslovênia.

3.1.2 – Indicadores de produção tecnológica

O documento das patentes (solicitadas e concedidas) encontradas no site do United States Patent and Trademark Office (Uspto) contém as informações utilizadas para a elaboração das bases de dados. Entre essas informações está a classe tecnológica da patente. Existe uma classificação internacional de patentes preparada pela Organização Mundial de Propriedade Intelectual (Ompi, cujo site é www.wipo.org), que possui diversos níveis de desagregação: seções, subseções, classes e subclasses. São oito seções e mais de 600 subclasses. Se, por um lado, a alta desagregação das subclasses dificulta a análise por separar tecnologias relacionadas, por outro lado a forma como a agregação é feita nos níveis de seção e subseção tem a finalidade de atender às necessidades dos escritórios de patentes e não de viabilizar análises acadêmicas no campo da economia da ciência e tecnologia.

Para superar esses problemas, uma iniciativa do Observatoire des Sciences et des Techniques (OST, 2000) propôs uma forma de agregação em seis domínios tecnológicos e em 30 subdomínios tecnológicos. O trabalho proposto pelo OST parte da classificação internacional da Organização Mundial de Propriedade Intelectual, mas os agrega, com o auxílio de especialistas das diversas áreas, de forma a viabilizar informações para o formulador de políticas e para o analista da área de economia da tecnologia. O “algoritmo” da agregação, proposto pelo OST e que pode ser encontrado em publicação da entidade (OST, 2000, p. 409), é reproduzido na tabela 1.A do anexo.

A classificação das patentes por domínios e subdomínios tecnológicos, por exemplo, oferece uma visão sobre o setor a que pertence a patente. O levantamento de dados sobre patentes para o setor saúde incluirá os subdomínios tecnológicos relativos à engenharia médica, química orgânica, química macromolecular, produtos farmacêutico-cosméticos e biotecnologia. Com essa classificação, uma das maiores lacunas dos estudos que utilizam estatísticas de patentes pôde ser contornada. Isso é especialmente importante para estudos da área de saúde. A pesquisa sobre patentes foi feita por país do inventor e os dados estão disponíveis no endereço www.uspto.gov.

Sumarizando, em relação aos indicadores de C&T, justifica-se o uso de artigos publicados e de patentes neste trabalho (em vez de indicadores derivados de artigos e patentes) porque a observação simultânea dessas variáveis é importante para analisar as conexões entre C&T e para formular modelos sobre processos inovativos (SCHMOCH, 1997).

3.1.3 – Indicador de desenvolvimento econômico

A literatura econômica que enfatiza o papel da ciência e tecnologia na determinação do crescimento econômico é ampla (PAVITT, 1991; ROSENBERG, 1990; KLEVORICK e colaboradores, 1995; NARIN e colaboradores, 1997; FREEMAN; SOETE, 1997, etc.). Na verdade, as relações entre crescimento econômico e desenvolvimento científico são muito mais recíprocas do que unidirecionais, já que a ordem de determinação é bilateral. Essa concepção é válida, principalmente, para países avançados que já atingiram certo grau de interação entre ambas as esferas.

Este artigo tem por hipótese que a renda é uma das variáveis que determinam a produção científica e tecnológica – expressa por artigos científicos e patentes – tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. O indicador de desenvolvimento econômico é a renda, medida por paridade do poder de compra, cuja fonte é o World Development Indicators, 2003, disponível em CD-Rom. Considerando que a análise realizada conta com vários países, pertencentes a diferentes estágios de desenvolvimento, o indicador de renda será utilizado sob o enfoque da paridade do poder de compra.

3.2 – Modelo

A proposta desta seção é analisar o sentido de determinação entre ciência e tecnologia em duas dimensões. Em primeiro lugar, o modelo de dados em painel será utilizado para estimar as equações de ciência e tecnologia em 1981, 1991 e 2001. Esse modelo permite verificar as relações unilaterais entre C&T. Pretende-se analisar em que medida a produção tecnológica dos países é determinada pela produção científica e pela renda *per capita*, que é o indicador do nível de desenvolvimento econômico. Raciocínio análogo aplica-se à produção científica, ou seja, supõe-se que esta seja determinada pela produção tecnológica e pelo indicador do nível de desenvolvimento econômico. Assim, será possível analisar se a ciência é seguidora e se lidera a tecnologia. Os modelos serão estimados para o conjunto de países que pertencem aos regimes II e III (uma vez que os países pertencentes ao regime I não possuem produção sistemática em ciência e ou tecnologia). Uma variável *dummy* de regime será utilizada para distinguir os países que pertencem aos diferentes regimes. Essa variável *dummy* capta a heterogeneidade entre os diferentes regimes.

Em segundo lugar, o modelo de equações simultâneas será utilizado para estimar as equações de C&T para o ano de 2001. Será verificado o sentido de causalidade recíproco entre a produção científica e a produção tecnológica para os países pertencentes aos diferentes estágios de desenvolvimento econômico. As variáveis endógenas serão artigos e patentes; as variáveis exógenas serão renda e variável *dummy* de regime; os instrumentos, que possibilitam identificar o modelo, serão artigos e patentes defasados de um período. As equações de artigos e patentes, exatamente identificadas, serão estimadas pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E).

Segundo Baltagi (1995), Greene (2000) e Hsiao (1986), a análise de dados longitudinais ou em painel é uma das áreas mais interessantes em econometria, pois proporciona uma maneira sofisticada para o desenvolvimento de técnicas de estimação e resultados teóricos. Através dessa técnica pode-se examinar simultaneamente a dimensão temporal e de *cross-section*, o que não poderia ser feito com dados separados de *cross-section* ou de série temporal. Entre as vantagens, destacam-se o aumento do número de informações, o entendimento das diferenças de comportamento entre as *cross-sections* e a capacidade de controlar a heterogeneidade entre os indivíduos ao longo do tempo, através da estimação de efeitos individuais.

Existem dois enfoques para tratar o modelo de dados em painel: o enfoque do efeito fixo e do efeito aleatório.

O modelo de efeito fixo, conhecido como modelo das *dummies*, é estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários com variável *dummy* (MQVD). Os estimadores serão consistentes e eficientes se não houver correlação entre x_{it} e ε_{it} , ou seja, se não houver problema de endogeneidade. Nesse enfoque, supõe-se que o intercepto (α_i) é diferente para cada unidade de *cross-section*, mas constante ao longo do

tempo. Porém, se o intercepto (α_i) for igual para todas as unidades, então o modelo de regressão clássico deverá ser utilizado. A equação do modelo de efeito fixo é definida a seguir:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

onde: y_{it} = variável dependente;

x_{it} = matriz de variáveis independentes, excluindo a constante;

ε_{it} = erro aleatório;

α_i = representa os efeitos individuais das unidades de *cross-section*.

A equação (1) pode ser reescrita como:

$$y = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n \ X] \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} + \varepsilon \quad (2)$$

onde: d_i são as variáveis *dummies*.

O modelo de efeito aleatório é usado quando os interceptos (α_i) são distribuídos aleatoriamente entre as unidades de *cross-section* (GREENE, 2000). Isso significa que o efeito individual é uma variável aleatória, similar ao erro ε_{it} . Utiliza-se o estimador de mínimos quadrados generalizados (MQG) para se estimar os parâmetros. A equação do modelo de efeito aleatório é definida a seguir:

$$y_{it} = \alpha + \beta x_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

onde: u_i = termo aleatório relacionado somente com i (unidades de *cross-section*),

expressa fatores que não estão presentes e que são específicos a cada *cross-section*;

ε_{it} = erro relacionado com cada *cross-section* e cada período.

A decisão sobre qual será o enfoque mais adequado pode ser tomada através de testes de especificação, como, por exemplo, o teste de Hausman. Sob a hipótese nula de ausência de correlação, o método dos MQVD para efeito fixo é consistente e o método dos MQG para efeito aleatório é consistente e eficiente.

No entanto, há controvérsia na literatura sobre os resultados das estimações com efeito fixo e com efeito aleatório. Segundo Mundlak (1978), em primeiro lugar, os critérios sugeridos para decidir se o efeito individual é fixo ou aleatório são inadequados; em segundo lugar, a teoria subjacente ao modelo de efeito aleatório negligencia as conseqüências da correlação que pode existir entre o efeito individual e as variáveis explicativas. Para resolver essas questões, o autor assume, em princípio e sem perda de generalidade, que os efeitos são aleatórios, mas que o modelo de efeito fixo é adequado para se realizar inferências condicionais à amostra observada. Outro aspecto ressaltado por Mundlak é que se o modelo for corretamente especificado, os estimadores de efeito aleatório e de efeito fixo serão idênticos e, portanto, haverá somente um estimador.

A próxima seção apresenta a equação de produção tecnológica, de produção científica e os resultados.

4 – Sistema nacional de inovação

4.1 - Introdução

Viu-se que as relações entre ciência e tecnologia são interdependentes, principalmente entre os países que possuem produção sistemática em C&T. A primeira etapa da análise explora essas relações de

forma unidirecional, ou seja, as equações de ciência e tecnologia são estimadas individualmente, a partir da técnica de dados em painel. Os resultados encontrados mostram que a ciência é muito importante para explicar a tecnologia e vice-versa. Assim, uma segunda etapa é elaborada para explorar o sentido de mútua determinação entre C&T e as mesmas equações são estimadas simultaneamente. Os resultados confirmam a existência de mútua causalidade entre C&T.

As equações de produção tecnológica e científica são apresentadas abaixo:

$$P_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 A_{it} + \alpha_2 \ln GNI_{it} + \alpha_3 DR3 + \varepsilon_{Pit} \quad (4)$$

$$A_{it} = \beta_0 + \beta_1 P_{it} + \beta_2 GNI_{it} + \beta_3 DR3 + \varepsilon_{Ait} \quad (5)$$

Onde:

P_{it} = log natural de patentes *per capita*;

A_{it} = log natural de artigos científicos *per capita* para todas as disciplinas científicas;

GNI_{it} = log natural da renda *per capita* (medida por PPC);

DR3 = variável *dummy*: DR3 = 0 para os países pertencentes ao regime II;

DR3 = 1 para os países pertencentes ao regime III;

i = unidades de *cross-section* (neste trabalho, representam os países);

t = tempo (1981, 1991 e 2001).

4.2 - Produção tecnológica determinada pela produção científica

De acordo com a equação (4), a produção tecnológica depende da produção científica, da renda e do regime de interação. A tabela 4.1 apresenta os resultados referentes à estimação da equação de tecnologia para o sistema de inovação.

A equação de tecnologia foi estimada por quatro métodos: por mínimos quadrados ordinários (que é o modelo clássico de regressão), por mínimos quadrados generalizados (*feasible generalized least squares* – FGLS, que também é o modelo clássico de regressão), por mínimos quadrados ordinários com variáveis *dummies* (que é o modelo de efeito fixo) e por mínimos quadrados generalizados (FGLS – que é o modelo de efeito aleatório). Os testes de especificação serão realizados para a escolha do melhor modelo. O teste F é usado para escolher entre o modelo clássico de regressão e o modelo de efeito fixo; o teste de Breusch-Pagan, para escolher entre o modelo clássico e o modelo de efeito aleatório; e o teste de Hausman, para escolher entre o modelo de efeito fixo e o de efeito aleatório.

Considerando o modelo clássico de regressão, estimado através do método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), observa-se que todas as variáveis apresentaram os sinais esperados e foram significativas a 1%.¹ No entanto, a estimativa apresentou problema de heterocedasticidade (teste de White: 21,28) e o modelo foi novamente estimado por mínimos quadrados generalizados (FGLS).

O resultado do teste F (cujo valor é 6,30) indica que existe heterogeneidade entre os países, sendo a evidência favorável ao modelo de efeito fixo, em detrimento do modelo clássico. As variáveis artigos científicos e renda foram significativas no nível de 1%, a *dummy* de regime foi significativa a 10% e os sinais de todas as variáveis foram positivos.

O teste de Breusch-Pagan (37,12) evidencia que o modelo de efeito aleatório proporciona ajustamento melhor do que o modelo clássico, representado por um único termo constante.

¹ Para resolver o problema dos *outliers*, foram incluídas duas variáveis *dummy* no modelo clássico para o NSI. A primeira para *outliers* positivos (DP): Hungria (1981), Itália (1981), Malawi (1981), Uruguai (1981) e Coréia do Sul (1991); a segunda para *outliers* negativos: Arábia Saudita (1981), Romênia (1991), Turquia (1991), Argélia (2001), Eslováquia (2001), Irã (2001) e Marrocos (2001). Todos esses países pertencem ao regime II nas datas consideradas.

O teste de Hausman (25,65), baseado no critério de Wald, indica rejeição da hipótese nula² e, portanto, o modelo de efeito fixo é melhor do que o de efeito aleatório. Isso significa que os interceptos são diferentes para cada país, mas não estão sujeitos a variações aleatórias.

O teste de endogeneidade³ foi realizado para testar a consistência dos estimadores de MQO e MQVD. A hipótese nula é de que os regressores são exógenos. O resultado apresentado na tabela 4.1 mostra que não se pode rejeitar H_0 no nível de significância de 10%, o que evidencia ausência de correlação entre os regressores e o erro, tornando possível realizar as estimativas através dos MQO ou dos MQVD. No entanto, para níveis de significância inferiores a 10%, pode haver problema de endogeneidade.

Em síntese, a equação de tecnologia proposta para o sistema de inovação apresentou resultados robustos: as variáveis explicativas referentes a artigos e renda foram significativas e apresentaram o sinal positivo esperado em todas as estimativas. Constatou-se que há heterogeneidade entre os regimes II e III, pois a variável *dummy* de regime (DR3) foi significativa (no nível de 10%) e entre os países individualmente, devido às características específicas do sistema nacional de inovação de cada país.

TABELA 4.1 – Equação de produção tecnológica para o sistema de inovação – países pertencentes aos regimes II e III (1981, 1991 e 2001)

$$P_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (A_{it}) + \alpha_2 (GNI_{it}) + \alpha_3 (DR3) + \varepsilon_{Pit}$$

| Variáveis | (1) | (2) | (3) | (4) |
|--------------------------|-----------|-----------|----------|----------|
| | Coef. | Coef. | Coef. | Coef. |
| A_{it} | 0.37*** | 0.37*** | 0.56*** | 0.55*** |
| GNI_{it} | 1.24*** | 1.24*** | 0.77*** | 0.84*** |
| DR3 | 2.40*** | 2.40*** | 0.59* | 1.75** |
| DP | 2.63*** | 2.63*** | - | - |
| DN | -2.49*** | -2.49*** | - | - |
| C | -12.74*** | -12.74*** | -8.98*** | -9.96*** |
| N | 191 | 191 | 191 | 191 |
| R ² (ajd.) | 0.93 | - | 0.97 | 0.97 |
| R ² (overall) | - | - | 0.86 | 0.88 |
| Teste de White | 21.28 | - | 3.30 | - |
| F (conj.) | - | - | 6.30 | - |
| Prob > F | - | - | 0.00 | - |
| Hausman | - | - | 25.65 | - |
| Prob> χ^2 | - | - | 0.00 | - |
| Teste de end. | - | - | 3.44 | - |
| Prob > F | - | - | 0.07 | - |
| LM de B-P | - | - | - | 37.12 |
| Prob> χ^2 | - | - | - | 0.00 |

Fonte: elaboração própria

- (1) Modelo clássico de regressão – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).
- (2) Modelo clássico de regressão – estimado pelo método dos mínimos quadrados generalizados (MQG).
- (3) Modelo de efeito fixo – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários com variáveis *dummy* (MQVD).
- (4) Modelo de efeito aleatório – estimado pelo método dos mínimos quadrados generalizados (MQG).

*** Significativa a 1%

** Significativa a 5%

* Significativa a 10%

Obs.: DP e DN são as variáveis *dummy* para *outliers* positivos e negativos.

² Hipótese nula: a diferença nos coeficientes é não sistemática, ou seja, aleatória.

³ O teste de endogeneidade foi elaborado a partir da proposta de Wooldridge (2001, p. 118), do exemplo disponível em www.stata.com/support/faqs/stat/endogeneity.html e adaptado para o modelo de dados em painel.

4.3 - Produção científica determinada pela produção tecnológica

Nesta seção, as referências aos testes econométricos serão breves, pois seu conteúdo foi bem explorado na seção anterior.

A equação (5) relaciona a produção científica com a produção tecnológica, com a renda e com o regime de interação. A tabela 4.2 apresenta os resultados referentes à estimação da equação de produção científica para o sistema de inovação.

TABELA 4.2 – Equação de produção científica para o sistema de inovação – países pertencentes aos regimes II e III (1981, 1991 e 2001)

$$A_{it} = \beta_0 + \beta_1 (P_{it}) + \beta_2 (GNI_{it}) + \beta_3 (DR3) + \varepsilon_{Ait}$$

| Variáveis | (1) | (2) | (3) | (4) |
|-----------------|----------|----------|---------|---------|
| | Coef. | Coef. | Coef. | Coef. |
| P_{it} | 0.35*** | 0.35*** | 0.24*** | 0.30*** |
| GNI_{it} | 0.71*** | 0.71*** | 0.73*** | 0.74*** |
| DR3 | 0.41* | 0.41* | 0.43* | 0.50*** |
| DN | -2.45*** | -2.45*** | - | - |
| C | -1.96* | -1.96* | -2.08** | -2.2*** |
| N | 191 | 191 | 191 | 191 |
| R^2 (ajd.) | 0.84 | - | 0.97 | 0.97 |
| R^2 (overall) | - | - | 0.82 | 0.82 |
| Teste de White | 32.10 | - | 1.66 | - |
| F (conj.) | - | - | 11.60 | - |
| Prob > F | - | - | 0.00 | - |
| Hausman | - | - | 6.45 | - |
| Prob > χ^2 | - | - | 0.09 | - |
| Teste de end. | - | - | 1.95 | - |
| Prob > F | - | - | 0.17 | - |
| LM de B-P | - | - | - | 61.59 |
| Prob > χ^2 | - | - | - | 0.00 |

Fonte: elaboração própria

- (1) Modelo clássico de regressão – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).
- (2) Modelo clássico de regressão – estimado pelo método dos mínimos quadrados generalizados (MQG).
- (3) Modelo de efeito fixo – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários com variáveis *dummy* (MQVD).
- (4) Modelo de efeito aleatório – estimado pelo método dos mínimos quadrados generalizados (MQG).

*** Significativa a 1%

** Significativa a 5%

* Significativa a 10%

Obs.: DN é a variável *dummy* para *outliers* negativos.

De maneira similar à equação de tecnologia, foram realizadas quatro estimativas e testes de especificação para escolher o modelo mais adequado entre os clássicos de regressão, de efeito fixo e de efeito aleatório.

O resultado do teste F (11,60), apresentado na tabela 4.2, mostra que há heterogeneidade entre os países no que tange à produção científica. Assim, as estimativas obtidas através do modelo de efeito fixo são mais adequadas que as do modelo clássico. O teste de Breusch-Pagan (61,59) também evidencia que o modelo de efeito aleatório é preferível ao modelo clássico para estimar os parâmetros da equação de artigos científicos. O teste de Hausman (6,45) é favorável ao modelo de efeito fixo relativamente ao modelo de efeito aleatório, no nível de significância de 10%. Esse resultado indica que há heterogeneidade na produção científica entre os países e que essa heterogeneidade é representada pelas diferentes unidades de *cross-*

section da equação. O teste de endogeneidade (1,95) confirma a hipótese de que não há correlação entre o erro e os regressores, demonstrando a possibilidade de se usar as técnicas dos MQO e dos MQVD para estimar os parâmetros da regressão.

Em termos analíticos, os resultados confirmam a importância da tecnologia, expressa pelo indicador de patentes, e do nível de desenvolvimento, expresso pela renda *per capita*, para explicar a dimensão científica em todas as estimativas referentes ao NSI. Considerando-se o modelo de efeito fixo, um aumento de 1% na produção de patentes aumentará a produção científica em 0,24% e um aumento de 1% na renda expandirá a produção científica em 0,73%. A significância da variável *dummy* de regime (DR3) confirma a hipótese de que há heterogeneidade entre os regimes II e III. Os resultados de todas as estimativas apresentaram os sinais esperados e foram significativos a 1% (com exceção de DR3 para efeito fixo, que foi significativa a 10%).

4.4 – Mútua determinação entre ciência e tecnologia

O modelo de equações simultâneas é útil para analisar o sentido de determinação recíproca entre ciência e tecnologia. Acrescente-se que, ao considerar níveis de significância inferiores a 10%, o teste de endogeneidade relativo à equação de patentes indicou que pode haver problema de endogeneidade na estimativa. Por isso, as equações (4) e (5) relativas à produção tecnológica e à produção científica serão estimadas simultaneamente pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E). Os resultados encontram-se na tabela 4.3.

TABELA 4.3 – Equações simultâneas de produção tecnológica e de produção científica para o sistema de inovação – países pertencentes aos regimes II e III (2001)

$$P_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (A_{it}) + \alpha_2 (GNI_{it}) + \alpha_3 (DR3) + \varepsilon_{Pit}$$

$$A_{it} = \beta_0 + \beta_1 (P_{it}) + \beta_2 (GNI_{it}) + \beta_3 (DR3) + \varepsilon_{Ait}$$

| Variáveis | P _{it} | A _{it} |
|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | Coef. (1) | Coef. (1) |
| P _{it} | - | 0.34** |
| A _{it} | 0.33* | - |
| GNI _{it} | 1.41*** | 0.84** |
| DR3 | 2.40*** | 0.09 |
| C | -14.34*** | -3.02 |
| N | 56 | 56 |
| R ² (ajd.) | 0.92 | 0.86 |

Fonte: elaboração própria

(1) Modelo de equações simultâneas – estimado pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E).

*** Significativa a 1%

** Significativa a 5%

* Significativa a 10%

Se, por um lado, os artigos científicos, a renda *per capita* e a variável *dummy* de regime foram importantes para explicar o comportamento das patentes, por outro lado as patentes e a renda *per capita* foram os principais determinantes da produção científica. A variável *dummy* de regime (DR3) não foi significativa na equação de artigos, o que pode indicar que a produção científica para o sistema de inovação no ano 2001 está mais desconcentrada, ou seja, um maior número de países, principalmente os componentes do regime II, conseguiram publicar artigos indexados ao ISI. Porém, a variável *dummy* de regime (DR3) foi muito importante para explicar a produção tecnológica, o que pode indicar que a produção de patentes é bem mais concentrada do que a produção científica e que o salto tecnológico é bem mais expressivo que o científico. A conclusão mais importante refere-se ao grau de determinação recíproca entre artigos e patentes,

no sentido de que as patentes são significativas para explicar a produção científica e vice-versa. Os resultados de todas as estimativas são robustos e apresentaram o sinal positivo esperado.

5 – Sistema de inovação setorial em saúde

5.1 – Introdução

O tratamento econométrico para o setor saúde será similar ao do sistema nacional de inovação. Inicialmente, as equações de ciência e tecnologia serão estimadas individualmente para verificar o sentido de determinação unidirecional entre C&T. A seguir, serão estimadas simultaneamente, para efetivar a análise de mútua determinação entre C&T.

As equações de produção tecnológica e científica para o setor saúde são apresentadas abaixo:

$$P_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 A_{it} + \alpha_2 \ln GNI_{it} + \alpha_3 DR3 + \varepsilon_{P_{it}} \quad (6)$$

$$A_{it} = \beta_0 + \beta_1 P_{it} + \beta_2 GNI_{it} + \beta_3 DR3 + \varepsilon_{A_{it}} \quad (7)$$

Onde:

P_{it} = log natural de patentes *per capita* dos subdomínios tecnológicos de engenharia médica, química orgânica, química macromolecular, produtos farmacêutico-cosméticos e biotecnologia;

A_{it} = log natural de artigos científicos *per capita* para as 47 disciplinas relacionadas à área de saúde;

GNI_{it} = log natural da renda *per capita* (medida por PPC);

DR3 = variável *dummy*: DR3 = 0 para os países pertencentes ao regime II; DR3 = 1 para os países pertencentes ao regime III.

5.2 - Produção tecnológica em saúde determinada pela produção científica

A tabela 5.1 mostra os resultados da equação de patentes estimada para o sistema de inovação em saúde.

O teste F (4,79) mostra que o modelo de efeito fixo, estimado pelo método dos MQVD, é preferível ao modelo clássico de regressão, estimado por MQO. Os modelos estimados pelos métodos dos MQO e MQVD não apresentam problemas de endogeneidade, conforme revelado pelo teste (0,01). O modelo de efeito aleatório também é preferível ao modelo clássico, conforme resultados do teste de Breusch-Pagan (29,26). Através do teste de Hausman (8,12), a hipótese nula foi rejeitada no nível de significância de 5%, revelando que o modelo de efeito fixo é preferível ao modelo de efeito aleatório.

Os resultados de todas as estimativas da Tabela 4.4 são robustos, pois as variáveis explicativas foram significativas e apresentaram os sinais esperados.

Uma diferença importante entre o modelo de patentes para o NSI em saúde e para o NSI deve ser destacada: o impacto do aumento da renda sobre as patentes é maior no caso do setor saúde (o coeficiente da renda é maior que um no modelo de efeito fixo) relativamente ao NSI (o coeficiente da renda é menor que um para as estimativas de efeito fixo). Para o setor saúde, tomando a estimativa de efeito fixo, um aumento de 1% na renda provoca um aumento de 1,08% na produção de patentes e, para o NSI, um aumento de 1% na renda expande a produção de patentes em 0,77%. Em ambas as estimativas, os artigos científicos são significativos no nível de 1% para explicar a produção de patentes. Para o NSI em saúde, o impacto de 1% de crescimento na produção científica aumenta a produção de patentes em 0,44% e, para o NSI, o aumento na produção de patentes é de 0,56%. Além da heterogeneidade existente entre países, captada pelo modelo de efeito fixo, a variável *dummy* de regime (DR3) foi significativa no nível de 10%, revelando que há heterogeneidade entre os próprios regimes, ou seja, há diferenças de níveis em termos de produção de patentes para os países pertencentes aos regimes II e III.

As principais conclusões a serem tiradas desta seção é que a ciência tem contribuído de forma apreciável para o desenvolvimento tecnológico do sistema nacional de inovação total e do sistema de inovação em saúde, tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento. Outro aspecto que merece destaque refere-se à inter-relação entre tecnologia e nível de desenvolvimento: longe de possuírem sentido de causalidade unilateral, ambos mantêm interações recíprocas, sendo que o sentido de determinação de desenvolvimento para tecnologia foi encontrado nos resultados deste trabalho. Demonstrou-se que a renda é importante para explicar o modelo de tecnologia do conjunto de países analisados, o que aponta para a existência de uma rede de conexões e interações bem definidas entre tecnologia, ciência e nível de desenvolvimento para o NSI e para o NSI do setor saúde.

TABELA 5.1 – Equação de produção tecnológica para o sistema de inovação em saúde – países pertencentes aos regimes II e III (1981, 1991 e 2001)

$$P_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (A_{it}) + \alpha_2 (GNI_{it}) + \alpha_3 (DR3) + \varepsilon_{Pit}$$

| Variáveis | (1) | (2) | (3) |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Coef. | Coef. | Coef. |
| A_{it} | 0.40*** | 0.44** | 0.46*** |
| GNI_{it} | 1.13*** | 1.08*** | 1.02*** |
| DR3 | 1.61*** | 0.23 | 1.22*** |
| DP | 2.42*** | - | - |
| DN | -2.45*** | - | - |
| C | -12.61*** | -11.79*** | -11.65*** |
| N | 154 | 154 | 154 |
| R ² (ajd.) | 0.90 | 0.95 | 0.96 |
| R ² (overall) | - | 0.85 | 0.87 |
| Teste de White | 15.40 | 0.35 | - |
| F (conj.) | - | 4.79 | - |
| Prob > F | - | 0.00 | - |
| Hausman | - | 8.12 | - |
| Prob > χ^2 | - | 0.04 | - |
| Teste de end. | - | 0.01 | - |
| Prob > F | - | 0.92 | - |
| LM de B-P | - | - | 29.26 |
| Prob > χ^2 | - | - | 0.00 |

Fonte: elaboração própria

- (1) Modelo clássico de regressão – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).
- (2) Modelo de efeito fixo – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários com variáveis *dummy* (MQVD).
- (3) Modelo de efeito aleatório – estimado pelo método dos mínimos quadrados generalizados (MQG).

*** Significativa a 1%

** Significativa a 5%

* Significativa a 10%

Obs.: DP e DN são as variáveis *dummy* para *outliers* positivos e negativos.

5.3 - Produção científica em saúde determinada pela produção tecnológica

Os resultados da equação de artigos científicos para o setor saúde são apresentados na tabela 5.2.

TABELA 5.2 – Equação de produção científica para o sistema de inovação em saúde – países pertencentes aos regimes II e III (1981, 1991 e 2001)

$$A_{it} = \beta_0 + \beta_1 (P_{it}) + \beta_2 (GNI_{it}) + \beta_3 (DR3) + \varepsilon_{Ait}$$

| Variáveis | (1) | (2) | (3) | (4) |
|--------------------------|----------|----------|---------|---------|
| | Coef. | Coef. | Coef. | Coef. |
| P_{it} | 0.39*** | 0.39*** | 0.18** | 0.32*** |
| GNI_{it} | 0.74*** | 0.74*** | 0.68*** | 0.65*** |
| DR3 | 0.81*** | 0.81*** | 0.02 | 0.83*** |
| DN | -3.15*** | -3.15*** | - | - |
| C | -2.79** | -2.79** | -2.07* | -2.18* |
| N | 154 | 154 | 154 | 154 |
| R ² (ajd.) | 0.87 | - | 0.97 | 0.97 |
| R ² (overall) | - | - | 0.81 | 0.85 |
| Teste de White | 29.26 | - | 0.02 | - |
| F (conj.) | - | - | 10.00 | - |
| Prob > F | - | - | 0.00 | - |
| Hausman | - | - | 47.16 | - |
| Prob> χ^2 | - | - | 0.00 | - |
| Teste de end. | - | - | 0.01 | - |
| Prob > F | - | - | 0.94 | - |
| LM de B-P | - | - | - | 23.52 |
| Prob> χ^2 | - | - | - | 0.00 |

Fonte: elaboração própria

- (1) Modelo clássico de regressão – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).
- (2) Modelo clássico de regressão – estimado pelo método dos mínimos quadrados generalizados (MQG).
- (3) Modelo de efeito fixo – estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários com variáveis *dummy* (MQVD).
- (4) Modelo de efeito aleatório – estimado pelo método dos mínimos quadrados generalizados (MQG).

*** Significativa a 1%

** Significativa a 5%

* Significativa a 10%

Obs.: DN é a variável *dummy* para *outliers* negativos.

O teste F (10,00) demonstra que o modelo de efeito fixo é melhor que o modelo clássico. O teste de Breusch-Pagan (23,52) revela que o modelo de efeito aleatório é melhor que o modelo clássico para ajustar a equação de artigos científicos. A escolha entre os modelos, de efeito fixo ou aleatório, realizada através do teste de Hausman (47,16), foi favorável ao modelo de efeito fixo.

Considerando o modelo de efeito fixo, o maior impacto sobre a produção científica advém da renda: um aumento de 1% na renda expande a produção científica em 0,68%. Um aumento de 1% na produção tecnológica expande a produção científica em 0,18% (para o NSI, esse coeficiente é de 0,24%). A variável *dummy* para regime não foi significativa, indicando que não há heterogeneidade entre os regimes II e III no que se refere à produção científica, ou seja, a produção científica para o setor saúde é menos concentrada do que a produção tecnológica.

5.4 - Determinação recíproca entre ciência e tecnologia em saúde

Para avaliar o sentido de determinação entre ciência e tecnologia no setor saúde, será estimado o modelo de equações simultâneas. As equações (6) e (7) relativas à produção tecnológica e à produção científica serão estimadas simultaneamente pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E). Os resultados são apresentados na tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Equações simultâneas de produção tecnológica e de produção científica para o sistema de inovação em saúde – países pertencentes aos regimes II e III (2001)

$$P_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (A_{it}) + \alpha_2 (GNI_{it}) + \alpha_3 (DR3) + \varepsilon_{Pit}$$

$$A_{it} = \beta_0 + \beta_1 (P_{it}) + \beta_2 (GNI_{it}) + \beta_3 (DR3) + \varepsilon_{Ait}$$

| Variáveis | P _{it} | A _{it} |
|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | Coef. (1) | Coef. (1) |
| P _{it} | - | 0.54*** |
| A _{it} | 0.60*** | - |
| GNI _{it} | 1.05*** | 0.62* |
| DR3 | 1.22*** | 0.10 |
| C | -12.54*** | -1.59 |
| N | 42 | 42 |
| R ² (ajd.) | 0.95 | 0.93 |

Fonte: elaboração própria

(1) Modelo de equações simultâneas – estimado pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E).

*** Significativa a 1%

** Significativa a 5%

* Significativa a 10%

A interação recíproca entre C&T mostrou-se mais expressiva para o NSI do setor saúde do que para o NSI. Em primeiro lugar, os artigos científicos foram significativos no nível de 1% para explicar a produção tecnológica em saúde, sendo que, para o NSI, o nível de significância foi de 10%. O coeficiente de impacto foi maior para o NSI em saúde relativamente ao NSI: um aumento de 1% na produção científica expande a produção tecnológica em 0,60% e 0,33%, respectivamente. Em segundo lugar, relação semelhante foi encontrada para explicar a produção científica: as patentes são mais significativas (no nível de 1%) e possuem coeficientes maiores para o NSI em saúde (0,54%) relativamente ao NSI (nível de significância de 5% e coeficiente de impacto de 0,34%).

Comparando-se os resultados para o NSI e para o NSI em saúde, constatam-se dois pontos em comum. Em primeiro lugar, em ambos os casos, a variável *dummy* de regime (DR3) foi significativa no nível de 1% para explicar a produção tecnológica, mas não foi importante na equação de artigos. Esse é um indício de que a produção tecnológica para o ano de 2001 parece mais concentrada do que a produção científica, sendo que os países do regime III são os principais detentores da tecnologia médica. Em segundo lugar, foi constatado sentido de determinação recíproca entre a produção científica e a produção tecnológica, evidenciando a importância das conexões entre C&T para os países dos regimes II e III.

Finalmente, após exame extensivo das relações entre ciência, tecnologia e desenvolvimento, pode-se conjecturar que as interações entre essas esferas estão formadas entre os países dos regimes II e III. Os resultados dos modelos de dados em painel e de equações simultâneas respaldam essa conclusão.

Em consequência, o modelo sobre regime de interação proposto por Bernardes e Albuquerque (2003) foi aqui adaptado para incorporar a idéia de que existem conexões entre C&T e desenvolvimento, mesmo para os países do regime II. As setas pontilhadas na figura 1.A do anexo indicam que o processo de interação está presente, mesmo para os países do regime II, ainda que de forma menos consolidada relativamente aos países do regime III.

6 – Conclusões

A principal conclusão deste artigo refere-se à interação entre ciência e tecnologia encontrada para o NSI e para o NSI em saúde. Tanto para os países desenvolvidos, pertencentes ao regime III, quanto para os países em desenvolvimento, do regime II, os artigos científicos foram fundamentais para explicar o desenvolvimento tecnológico e as patentes foram cruciais para explicar a produção científica. Isso sugere que o processo de determinação na área de ciência e tecnologia opera em ambos os sentidos, mesmo para os países do regime II.

Ainda que haja interações entre C&T para o conjunto de países do regime II, é evidente que a média da produção científica dos países desenvolvidos é muito superior à dos países em desenvolvimento e que a transformação do conhecimento científico em conhecimento tecnológico é processada de forma muito mais eficiente nos primeiros. Para os países do regime III são necessários em média 30 artigos para se gerar uma patente, enquanto para os países do regime II são necessários 120 artigos para se gerar uma patente (CHAVES & ALBUQUERQUE, 2004).

O segundo nível de interação encontrada neste artigo foi entre C&T e desenvolvimento econômico, para o NSI e para o NSI em saúde. Os resultados para o modelo de dados em painel e de equações simultâneas propostos mostram que a renda foi importante para explicar a produção tecnológica e a produção científica tanto dos países desenvolvidos, pertencentes ao regime III, quanto dos países em desenvolvimento pertencentes ao regime II. Há indícios de que o sentido de determinação da esfera econômica para a infra-estrutura em C&T está efetivado, mesmo para os países que ainda não atingiram o limiar de produção científica.

Na literatura sobre sistema setorial de inovação há forte preocupação em se dimensionar o peso da ciência para o desenvolvimento tecnológico. É consenso que o setor ligado à saúde depende fortemente da ciência. Em termos gerais, Nelson e Rosenberg (1993) afirmam que as interações entre C&T são complexas e que a ciência tanto lidera quanto é seguidora do progresso tecnológico. Essa afirmação está em sintonia com os resultados encontrados neste artigo para o sistema nacional de inovação e para o sistema setorial de inovação em saúde, uma vez que a ciência tanto determina quanto é determinada pela tecnologia.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, E. *Investigando a articulação entre a produção científica e tecnológica no setor saúde: nota preliminar sobre um "fosso" entre a produção científica e a produção tecnológica identificado pela avaliação da distribuição geográfica de artigos e patentes. Relatório de Pesquisa (RP). Mimeo. Belo Horizonte: Cedeplar-UFMG, 2004.*

ALBUQUERQUE, E. M.; CASSIOLATO, J. E. As especificidades do sistema de inovação do setor saúde. *Revista de Economia Política*, São Paulo, v. 88, n. 4, p.134-151, out./dez. 2002.

BALTAGI, B. H. *Econometric analysis of panel data*. New York: John Wiley and Sons, 1995.

BERNARDES, A.; ALBUQUERQUE, E. Cross-over, thresholds and interactions between science and technology: lessons for less-developed countries. *Research Policy*, v. 32, n. 5, p. 865-885, 2003.

CHAVES, C. V.; ALBUQUERQUE, E. *Desconexão no sistema de inovação no setor saúde: uma avaliação preliminar do caso brasileiro a partir de estatísticas de patentes e artigos. UFMG - Cedeplar: Belo Horizonte, 2004.*

FREEMAN, C.; SOETE, L. *The economics of industrial innovation*. London: Pinter, 1997.

GELIJNS, A. C. Comparing the development of drugs, devices, and clinical procedures: appendix A. In: GELIJNS, A. C. (Ed.). *Modern methods of clinical investigation*. Washington: National Academy, 1990. p.147-201. (Medical innovation at the crossroads; 1).

GELIJNS, A.; ROSENBERG, N. The changing nature of medical technology development. In: ROSENBERG, N.; GELIJNS, A.; DAWKINS, H. *Sources of medical technology: universities and industry* (Medical innovation at the crossroads, v. 5). Washington: National Academy, 1995.

GREENE, W. H. *Econometric analysis*. 4th ed. New York: Prentice Hall, 2000.

HSIAO, C. *Analysis of panel data*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.

KLEVORICK, A. K.; LEVIN, R.C.; NELSON, R. R.; WINTER, S. G. On the sources and significance of inter-industry differences in technological opportunities. *Research Policy*, Amsterdam, v. 24, n. 2, p.185-205, Mar. 1995.

MEYER-KRAHMER, F.; SCHMOCH, U. Science-based technologies: university-industry interactions in four fields. *Research Policy*, 27, p. 835-851, 1998.

MUNDLAK, Y. On the pooling of time series and cross sectional data. *Econometrica*, v. 46, n. 1, p. 69-85, 1978.

NARIN, F.; HAMILTON, K. S.; OLIVASTRO, D. The increasing linkage between U.S. technology and public science. *Research Policy*, v. 26, n. 3, p. 317-330, 1997.

NELSON, R. The intertwining of public and proprietary in medical technology. In: ROSENBERG, N.; GELIJNS, A.; DAWKINS, H. *Sources of medical technology: universities and industry* (Medical innovation at the crossroads, v. 5). Washington: National Academy, 1995.

NELSON, R.; ROSENBERG, N. Technical innovation and national systems. In: NELSON, R. (ed.). *National innovation systems: a comparative analysis*. New York, Oxford: Oxford University, 1993.

OBSERVATOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES. *Science & Technologie: indicateurs 2000*. Paris: Economica, 2000.

PAVITT, K. What makes basic research economically useful? *Research Policy*, Amsterdam, v. 20, n. 2, p.109-119, 1991.

ROSENBERG, N. How exogenous is science? In: ROSENBERG, N. (Ed.). *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge, MA: Cambridge University, p. 141-159, 1982.

ROSENBERG, N. Why do firms do basic research (with their money)? *Research Policy*, v. 19, p. 165-174, 1990.

SCHMOCH, U. Indicators and the relations between science and technology. *Scientometrics*, n. 38, v. 1, p. 103-116, 1997.

ANEXO

QUADRO 1A

Disciplinas científicas¹

Administração; agricultura/agronomia; al. robótica e cont. auto.; **anestesiologia**; arqueologia; arte e arquitetura; artes; biblioteconomia e ciência da informação; **biologia**; **biologia celular e do desenvolvimento**; **biologia experimental**; **biologia molecular e genética**; **bioquímica e biofísica**; **biotecnologia e microbiologia aplicada**; ciência da computação e engenharia; **ciência da saúde e serviços**; ciência das plantas; ciência de alimentos/nutrição; ciência dos animais; ciência dos animais e das plantas; ciência dos materiais e engenharia; ciência espacial; ciência política e administração pública; ciências aquáticas; ciências da terra; **cirurgia**; **clínica em psicologia e psiquiatria**; **clínica geral**; **clínica imunológica e doenças infecciosas**; comunicação; **dentística**, **cirurgia oral e medicina**; **dermatologia**; direito; economia; educação; **endocrinologia, metabolismo e nutrição**; eng. Aeroespacial; engenharia ambiental/energia; engenharia civil; engenharia elétrica e eletrônica; engenharia matemática; engenharia mecânica; engenharia mgmt/geral; engenharia nuclear; engenharia química; **entomologia**; espect./instrum./ciên. analit.; estudos ambientais, geol e desenvolvimento; estudos clássicos; **farmacologia e farmácia**; filosofia; física; física aplicada/mat. cond./ciên. mat.; físico-química; **fisiologia**; **gastroenterologia e hepatologia**; geol/petrol/engenharia de minas; **hematologia**; história; **imunologia**; instrumentação/medição; línguas; literatura; matemática; **medicina ambiental e saúde pública**; **medicina geral e interna**; **medicina reprodutiva**; medicina veterinária/saúde animal; meio ambiente/ecologia; metalurgia; **microbiologia**; multidisciplinar; **neurociência e comportamento**; **neurologia**; **oftalmologia**; **oncologia e pesquisa sobre câncer**; **ortopedia**; ótica; **otorrinolaringologia**; **pediatria**; **pesq. médica, órgãos e sistemas**; **pesq./med. lab. e tecnol. médica**; **pesquisa médica e tópicos gerais**; **pesquisa médica, diagnóstico e tratamento**; **psicologia**; **psiquiatria**; química; química agrícola; química e análise; química inorgânica e nuclear; química orgânica; **radiologia, medicina nuclear e imagens**; **reabilitação**; religião e teologia; **reumatologia**; **saúde pública e ciência da saúde**; serviço social e política social; **sistema cardiovascular e pesquisa em hematologia**; **sistema cardiovascular e respiratório**; sociologia e antropologia; tecnologia da informação e comunicação; **toxicologia**; **urologia**

Fonte: ISI, 2004.

(1) As disciplinas relacionadas em negrito são relacionadas ao setor saúde.

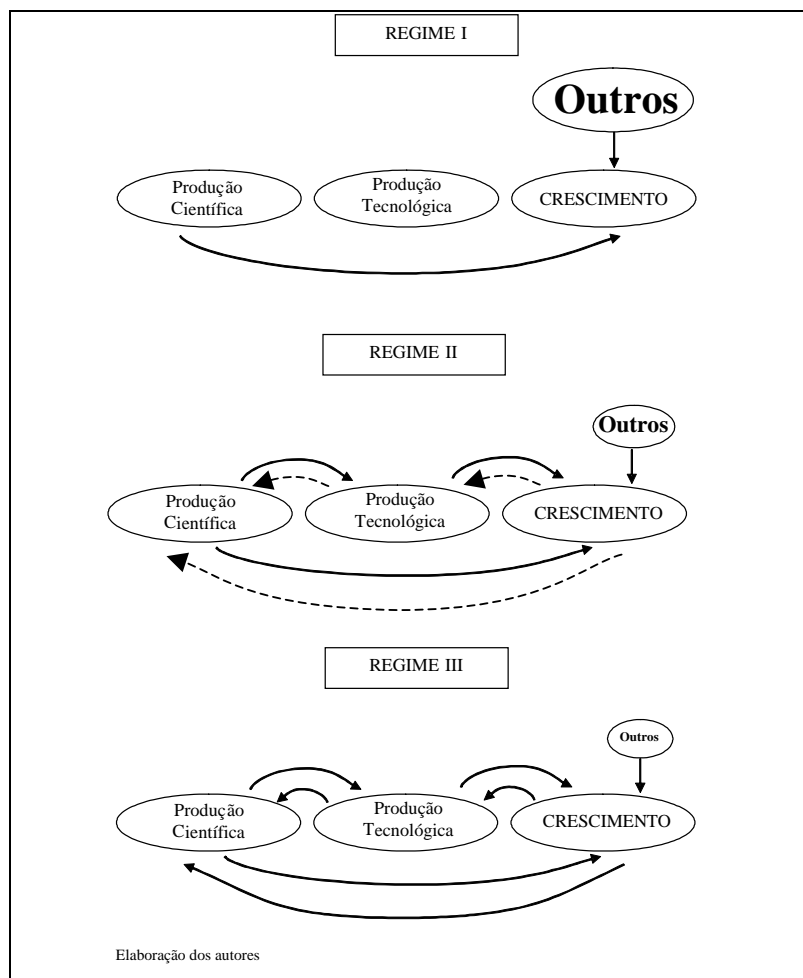
TABELA 1.A

Algoritmo de correspondência entre as subclasses da classificação internacional de patentes (Ompi) e os domínios e subdomínios tecnológicos propostos pelo Observatoire des Sciences et des Techniques (OST)

| Domínios tecnológicos (DT-6) | Subdomínios tecnológicos (DT-30) | Classe Wipo |
|---|---|---|
| 1- Eletrônica-eletricidade | 01. Componentes elétricos 02. Audiovisual 03. Telecomunicações 04. Informática 05. Semicondutores | F21; G05F; H01B, C, F, G, H, J, K, M, R, T; H02; H05B, C, F, K G09F, G; G11B; H03F, G, J; H04N, R, S G08C; H01P, Q; H03B, C, D, H, K, L, M; H04B, H, J, K, L, M, Q G06; G11C; G10L H01L |
| 2- Instrumentação | 06. Ótica 07. Análise-Mensuração-Control 08. Engenharia médica | G02; G03B, C, D, F, G, H; H01S G01B, C, D, F, G, H, J, K, L, M, N, P, R, S, V, W; G04; G05B, D; G07; G08B, G; G09B, C, D; G12 A61B, C, D, F, G, H, J, L, M, N |
| 3- Química fina e farmácia | 09. Química orgânica 10. Química macromolecular 11. Farmacêuticos-cosméticos 12. Biotecnologia 13. Produtos agrícolas e alimentares | C07C, D, F, H, J, K C08B, F, G, H, K, L; C09D, J A61K C07G; C12M, N, P, Q, S A01H; A21D; A23B, C, D, F, G, J, K, L; C12C, F, G, H, J; C13D, F, J, K |
| 4- Procedimento químico de base metalúrgica | 14. Procedimentos técnicos 15. Tratamento de superfícies 16. Trabalho com materiais 17. Materiais-metalurgia 18. Procedimentos térmicos 19. Química de base 20. Meio ambiente-poliuição | B01; B02C; B03; B04; B05B; B06; B07; B08; F25J; F26 B05C, D; B32; C23; C25; C30 A41H; A43D; A46D; B28; B29; B31; C03B; C081; C14; D01; D02; D03; D04B, C, G, H; D06B, C, G, H, J, L, M, P, Q; D21 G04; G05B, D; G07; G08B, G; G09B, C, D; G12 C01; C03C; C04; C21; C22; B22 F22; F23B, C, D, H, K, L, M, N, Q; F24; F25B, C; F27; F28 A01N; C05; C07B; C08C; C09B, C, F, G, H, K; C10B, C, F, G, H, J, K, L, M; C11B, C, D A62D; B09; C02; F01N; F23G, J |
| 5- Máquinas - mecânica – transportes | 21. Máquinas-ferramentas 22. Motores-bombas-turbinas 23. Componentes mecânicos 24. Manutenção-gráfica 25. Aparelhos agrícolas e alimentares 26. Transportes 27. Técnicas nucleares 28. Espacial-armamentos | B21; B23; B24; B26D, F; B27; B30 F01 (souf F01N); F02; F03; F04; F23R F15; F16; F17; G05G B25J; B41; B65B, C, D, F, G, H; B66; B67 A01B, C, D, F, G, J, K, L, M; A21B, C; A22; A23N, P; B02B; C12L; C13C, G, H B60; B61; B62; B63B, C, H, J; B64B, C, D, F G01T; G21; H05G, H B63G; B64G; C06; F41; F42 |
| 6- Consumo de famílias e construção civil | 29. Consumo das famílias 30. Construção civil | A24; A41B, C, D, F, G; A42; A 43B, C; A44; A45; A46B; A47; A62B, C; A63; B25B, C, D, F, G, H; B26B; B42; B43; B44; B68; D04D; D06F, N; D07; F25D; G10B, C, D, F, G, H, K E01; E02; E03; E04; E05; E06; E21 |

FONTE: OST, 2000 (p. 409)

FIGURA 1.A
Esquema de regimes de interação



Fonte: Adaptada de BERNARDES; ALBUQUERQUE (2003)