

DESAFIOS ESTRATÉGICOS PARA AMPLIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE: uma abordagem a partir da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação¹

João Gabriel Pio²

Fernando Salgueiro Perobelli³

Suzana Quinet A. Bastos⁴

Resumo: O principal objetivo desse trabalho é conferir uma avaliação quantitativa dos possíveis resultados de políticas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico. Especificamente, pretende-se analisar os prováveis desdobramentos macroeconômicos e setoriais de longo prazo da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016 - 2019 (ENCTI 2016 - 2019). Esse que define um conjunto de diretrizes, metas e setores estratégicos com o propósito de induzir o aumento de produtividade e competitividade. Tal avaliação foi realizada mediante a simulação com um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) BIM-GERD, calibrado para o Brasil para 2011. Os principais resultados da simulação indicam que o aumento de estoque de capital de *knowledge*, adquiridos por meio do estímulo e esforço para inovar, produzem resultados positivos de longo prazo sobre os sistema produtivo brasileiro. Em termos setoriais, um maior nível de produtividade é alcançado, resultando em ampliação da parcela de mercado externo.

Palavras-Chave: Investimento em P&D, Capital *knowledge*, Modelo EGC.

Abstract: The main objective of this work is to provide a quantitative evaluation of the possible results of policies to incentive technological development. Specifically, it is intended to analyze the probable long-term macroeconomic and sectoral developments of the National Science, Technology and Innovation Strategy 2016 - 2019 (ENCTI 2016 - 2019). This one defines a set of guidelines, goals and strategic sectors with the purpose of inducing the increase of productivity and competitiveness. This evaluation was performed through the simulation with a BIM-GERD Computable General Equilibrium (CGE) model, calibrated for Brazil for 2011. The main results of the simulation indicate that the increase in knowledge capital stock, acquired through the stimulation and effort to innovate, produce positive long-term results on the Brazilian productive system. In sectoral terms, a higher level of productivity is achieved, resulting in an expansion of the external market share.

Keywords: R&D investment. Capital Knowledge, CGE model.

Código JEL: O33, O38, R13, R15

1 INTRODUÇÃO

Com o enfraquecimento da demanda externa por *commodities* e com a queda de competitividade do setor industrial brasileiro, uma série de políticas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico, com objetivo de impulsionar a produtividade, vem sendo realizadas pelo governo federal.

¹ Os autores agradecem à FAPEMIG, CAPES e CNPq.

² Doutorando em Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Pesquisador do Laboratório de Análises Territoriais e Setoriais (LATES). E-mail: jpiogabriel@gmail.com.

³ Professor Associado. Departamento de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Pesquisador CNPq, FAPEMIG e LATES. E-mail: fernando.perobelli@ufjf.edu.br.

⁴ Professora Titular. Departamento de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Pesquisador CNPq, FAPEMIG e LATES. E-mail: quinet.bastos@ufjf.edu.br.

Embora a preocupação com relação a produtividade tenha se intensificado a partir de meados de 2008, devido a situação econômica do país, uma série de medidas legislativas importantes para desenvolvimento tecnológico foram realizadas no início dos anos 2000, tais como Lei da Inovação (2004) e Lei do Bem (2005), ambos com objetivos de estimular a realização de P&D e promover a inovação. Como isso, no período de 2000 a 2013 o dispêndio nacional em P&D passou de R\$ 34,6 bilhões (1,04% do PIB) para R\$ 63,7 bilhões (1,24% do PIB), colocando o Brasil como um dos países que mais realiza P&D por meio dos incentivos fiscais. De acordo OECD *Science* (2009), o Brasil é um dos países que mais estimulam a realização de P&D no mundo, estando a frente de países desenvolvidos como Noruega, Coreia do Sul e Dinamarca.

No entanto, embora o país tenha aumentado o nível dos gastos em P&D nos últimos anos, os efeitos sobre a produtividade não foram obtidos. Considerando a produtividade dos Estados Unidos como referência e comparando, em termos relativos, com alguns países da América Latina (Argentina, Chile e México) e OCDE (Itália, Japão e Reino Unido) no período entre 2008 e 2011, constata-se que o Brasil está em uma posição bem inferior em relação aos países analisados. Enquanto que Argentina, Chile e México apresentaram percentuais de produtividade de 34,9%; 45,8% e 37,9%, respectivamente, e Itália, Japão e Reino Unido apresentaram percentuais na ordem de 80,4%; 63,2% e 73,4%, a produtividade média do Brasil, no período, foi de 25,3% (*The Conference Board Total Economy Database*, 2015).

Tendo em vista que apenas medidas legislativas de incentivo à realização de P&D não são suficientes para alavancar a produtividade setorial, o governo federal tem anunciado parcerias com diferentes órgãos e instituições públicas e privadas para elaboração e execução de projetos federais. Entre os planos e programas lançados destacam-se: Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação 2007 - 2010, Plano Brasil Maior 2011 - 2014 e Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 - 2015, todos com o objetivo de garantir que o país consiga promover a inovação para obter ganhos de competitividade e crescimento econômico sustentável.

Lançado em 2016, a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) 2016-2019 tem o objetivo de promover a inovação e o aumento de produtividade de setores estratégicos da economia brasileira. Por meio de um conjunto de orientações e metas específicas que envolvem a intensificação da realização de P&D, a criação de estruturas institucionais e a formação de recursos humanos, a ENCTI pretende obter resultados de médio e longo prazo no desenvolvimento tecnológico de setores estratégicos (MCTI, 2016).

Ainda que a ENCTI 2016-2019 represente um avanço, no sentido de definir um conjunto de estratégias que incorporam o estabelecimento de uma estrutura institucional, a ausência de uma análise quantitativa impossibilita que questões secundárias, tais como: políticas complementares, elaboração e reavaliação das metas e perspectivas macroeconômicas e setores de longo prazo, sejam abordadas e realizadas.

Dado o exposto, este trabalho tem o objetivo de conferir uma avaliação quantitativa dos possíveis resultados macroeconômicos e setoriais em decorrência da implementação da ENCTI 2016-2019. A hipótese adotada é que o aumento do estoque de capital *knowledge* setorial, obtido via estímulos da ENCTI, produz efeitos em todo sistema produtivo, principalmente, devido aos efeitos transbordamentos do desenvolvimento tecnológico. Tal avaliação será realizada por meio da investigação das relações de interdependência setorial, via matriz insumo-produto, e mediante simulações com modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC).

Além dessa introdução, o artigo está organizado em mais 7 seções. Na segunda é apresentado as principais diretrizes e metas da ENCTI 2016 - 2019. Na terceira é realizado a revisão de literatura. Na subsequente, a estrutura metodológica do modelo BIM-GERD é detalhada. Na quinta tem-se a análise descritiva dos dados. Na sexta é apresentado a estruturação do choque e os

mecanismos de causalidade. Na sétima são apresentados e discutidos os resultados. E por fim, as considerações finais.

2 ESTRATÉGIA NACIONAL DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - 2016 - 2019

O Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI)⁵ lançou em 2016 a Estratégia Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação (ENCTI) para o período de 2016 a 2019 como propósito de promover o desenvolvimento científico e tecnológico para elevar a produtividade e competitividade de setores estratégicos da economia brasileira.

A ENCTI é um programa do governo federal que busca estabelecer diretrizes de médio e longo prazo para implementação de políticas na área da Ciência Tecnologia e Inovação (CT&I). Dentro de seu arcabouço, a estratégia busca aprimorar as condições institucionais para aumentar produtividade a partir da inovação; reduzir assimetrias regionais na produção e no acesso à CT&I; desenvolver soluções inovadoras para a inclusão produtiva e social; e fortalecer as bases para a promoção do desenvolvimento sustentável (MCTI, 2016).

A estruturação da ENCTI é direcionada pelo Sistema Nacional de CT&I (SNCTI). Esse engloba todos os aparatos institucionais que são necessários para a criação de ambiente propício ao desenvolvimento de novas tecnologias. Os principais atores que contribuem para o fortalecimento do SNCTI são: i) Os atores políticos; ii) as agências de fomento; iii) e os operadores de CT&I.

Aos atores políticos compete a formulação de medidas legislativas que facilitem e intensifiquem a busca por inovação por parte do setor privado. As agências de fomento, representadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) entre outros, têm o papel de fomentar a pesquisa científica e tecnológica; incentivar a formação de pesquisadores brasileiros; fomentar o desenvolvimento tecnológico e a inovação por meio de parcerias com órgãos de governo e do setor produtivo, promove o fomento público à CT&I em empresas, universidades, institutos tecnológicos e outras instituições públicas ou privadas. Já aos operadores do Sistema competem a execução das atividades planejadas e a articulação as medidas legislativas que buscam estimular a inovação.

De forma geral, os desafios apontados ENCTI focam na mobilização dos recursos, atores e instrumentos que compõem o SNCTI. Portanto, o eixo estrutural da ENCTI para incentivar o desenvolvimento tecnológico e ampliar a produtividade e competitividade nacional segue cinco pilares fundamentais dentro SNCTI: i) a pesquisa; ii) a infraestrutura; iii) o financiamento; iv) os recursos humanos; e v) a inovação.

A partir da estruturação do SNCTI, a ENCTI elege programas prioritários que envolvem as cadeias mais importantes para impulsionar a economia brasileira, são elas: (1) Economia e Sociedade Digital; (2) Alimento; (3) Complexo industrial da saúde; (4) Energia; (5) Aeroespacial e Defesa; e (6) Tecnologias Convergentes e Habilitadoras. A escolha dessas áreas tem como base as oportunidades em que o País dispõe de conhecimento, infraestrutura e áreas que precisam ser adensadas para o alcance da inserção internacional (MCTI, 2016).

A área de Economia e Sociedade Digital é caracterizada pelo setor de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e tem como estratégia o estímulo da produção e desenvolvimento tecnológico de software, hardware e sistemas, semicondutores e microeletrônica e infraestrutura de TI. O principal objetivo é fortalecer o setor nacional de TIC e sua cadeia produtiva, com vistas ao aumento de conteúdo local, da competitividade e da participação nos mercados nacional e internacional.

⁵ Recentemente incluiu-se o mistério da comunicação no MCTI, passando a ser denominado Ministério da Ciência Tecnologia, Inovação e Comunicação.

Para o setor de Alimentos o objetivo é ampliar os investimentos em P&D agropecuário para sustentar sua capacidade competitiva e garantir a liderança do agronegócio brasileiro na produção e disponibilidade de alimentos seguros e de qualidade.

O Complexo Industrial da Saúde envolve um amplo conjunto de atividades que apresentam uma importância estratégica para o País. O setor de Fármacos e Químicos se destacam tanto pela sua relevância econômica como pela sua importância no domínio de novas tecnologias. Dessa forma, o principal objetivo para esse setor é fortalecer e ampliar a indústria nacional produtora de fármacos, outros produtos e equipamentos para a saúde, de modo a aumentar o acesso da população brasileira às tecnologias de diagnóstico e terapia.

A área de Energia envolve o desenvolvimento de tecnologias nos setores de Petróleo e Gás, Energia Elétrica e de Biocombustíveis. O propósito fundamental é fomentar a pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e a inovação nas cadeias produtivas de energia, visando estimular a competitividade e aumentar a diversificação da matriz energética.

O desenvolvimento de tecnologia nos setores Aeroespacial e Defesa tem o propósito de promover a capacidade do País em utilizar os recursos e técnicas aeroespaciais na solução de problemas, principalmente, no setor de telecomunicações, bem como direcionar investimentos em P&D para desenvolvimento de produtos e sistemas militares e civis que compatibilizem as prioridades científico-tecnológicas com as necessidades de defesa.

Por fim, na área de Tecnologias Convergentes e Habilitadoras concentram-se os setores denominados de Fronteiras para Inovação, pois direcionam sua produção para o desenvolvimento de tecnologia de ponta no campo da nanotecnologia, biotecnologia e biodiversidade. O objetivo central da ENCTI nesses setores é estimular a produção de bens intensivos em conhecimento, de modo a proporcionar aumento de produtividade e competitividade da indústria nacional.

Diferente de seu antecessor (ENCTI 2012-2015), a nova ENCTI não estabelece o volume de recursos destinados para atingir o objetivo. Porém, identifica um conjunto de indicadores cujo acompanhamento e avaliação permitirão diagnosticar a implementação das ações propostas para o alcance dos objetivos estabelecidos. Dentre os indicadores destacam: aumentar o dispêndio nacional em P&D em relação ao PIB para 2% e elevar o número de pesquisadores por milhão de habitantes para 2100 até 2019. Cabe destacar, que além dos fatores especificados, a ENCTI conta com a intensificação da políticas de estímulo à realização de P&D e inovação, tais como: Lei da informática, Lei do Bem e Lei da Inovação. A Tabela 1 resume as informações destacadas.

Tabela 1 - Indicadores - Eixos de Sustentação da ENCTI

Indicadores	Últimos dados Oficiais	2019	Fonte
Dispêndio nacional em P&D em relação ao PIB	1.24% (2013)	2.00%	MCTI
Dispêndio empresarial em P&D em relação ao PIB	0.52% (2013)	0.90%	MCTI
Dispêndio governamental em P&D em relação ao PIB	0.71% (2013)	1.10%	MCTI
Dispêndio governamental federal em P&D em relação ao PIB	0.5% (2013)	0.80%	MCTI
Taxa de inovação das empresas	35.7% (2011)	48.60%	PINTEC
Número de empresas que fazem P&D contínuo	5600 (2011)	10000	PINTEC
Percentual de empresas inovadoras que utilizam ao menos um dos diferentes instrumentos de apoio à inovação nas empresas	34.2% (2011)	40.00%	PINTEC
Número de técnicos e pesquisadores ocupados em P&D nas empresas	103290 (2011)	120000	PINTEC
Percentual de concluintes de cursos de graduação nas engenharias em relação ao total de graduados em todas as áreas	7.2% (2013)	12.00%	INEP
Número de pesquisadores por milhão de habitantes	709 (2010)	2100	MCTI

Fonte: MCTI (2016).

3 REVISÃO DE LITERATURA

A literatura sobre inovação enfatizam dois aspectos da tecnologia desenvolvida, conforme salientado por Segerstrom, Anant e Dinopoulos (1990) e Aghion e Howitt (1992): 1) A tecnologia é não-rival, no sentido de que os custos marginais envolvidos na utilização de um agente adicional são desprezíveis; 2) O retorno aos investimentos tecnológicos é uma mistura de público e privado.

O primeiro aspecto pode ser considerado como uma expansão da tecnologia, o que indica que a tecnologia pode ser usada por outros agentes (empresas, setores e economias) por um custo adicional mínimo. Já o segundo destaca que, embora os retornos privados devam ser rentáveis o suficiente para manter a inovação em curso, os investimentos tecnológicos muitas vezes criam benefícios maiores para outros agentes do que para o inventor (SHIH e CHANG, 2009). Esses efeitos externos são chamados de efeito transbordamento da tecnologia (KELLER, 2004).

O transbordamento da tecnologia é definido como sendo o conhecimento tecnológico aprendido e absorvido em competição, de tal maneira que os benefícios não são apropriados integralmente pelo proprietário original da tecnologia (MASKUS, 2004). Isso ocorre porque o principal insumo do desenvolvimento de novas tecnologias, o investimento em P&D, possui características de bens públicos, sendo não-rival e parcialmente excludente (DIETZENBACHER e LOS, 2002).

Griliches (1979) e Scherer (1982) argumentam que os transbordamentos intersetoriais podem ser medidos a partir de matrizes baseadas na tecnologia, como fluxos de inovação e por meio da matriz de insumo-produto. A utilização da matriz de insumo-produto permite realizar estudos empíricos das interdependências produtivas entre as atividades econômicas, e a aplicação dos multiplicadores de Leontief com pesos de P&D possibilita estabelecer relações entre a tecnologia incorporada com as atividades de produção (CERULLI e POTI, 2009).

O trabalho desenvolvido por Griliches (1979) foi um dos pioneiros na tentativa de mensurar os retornos do investimento em P&D, principalmente ao analisar os efeitos desse sobre a produtividade. Por meio de uma estrutura insumo produto, o autor examina os efeitos do capital *knowledge* na composição dos insumos utilizados pelas indústrias. O autor usou dados sobre produtividade e P&D realizado por 883 grandes empresas norte-americanas durante o período 1957-1965. Os resultados mostram efeitos consideráveis e significativos da P&D no crescimento da produtividade dos setores nos EUA. Scherer (1982), por sua vez, utilizando uma matriz de patentes construída a partir de matrizes insumo-produtos do EUA, obtém resultados similares aos do Griliches (1979). Autores como Jaffe (1986), Wolff (1997), Koo (2005) e Cerulli e Poti (2009) também utilizam matrizes insumo produto para avaliar os efeitos da P&D sobre a produtividade.

De modo geral, o método de construção de matrizes de fluxos tecnológicos com base nas relações insumo produto configura-se em uma poderosa ferramenta para análise dos impactos da formação de capital *knowledge* e de seus transbordamentos. Isso se deve à estrutura das matrizes, que permite identificar os *linkages* setoriais e mensurar os efeitos encadeamentos. Ressalta-se que a avaliação via matriz insumo produto assume implicitamente oferta perfeita elástica e preços fixos, de modo que as mudanças derivam de alterações exógenas, isto é, refere-se a uma análise de curto prazo. Porém, sabe-se que os efeitos da mudança tecnológica produzem resultados de longo prazo, afetando tanto o nível de oferta quanto o nível de preços da economia devido a alterações na produtividade.

Nesse sentido, os modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) seriam úteis para a compreensão dos efeitos sobre o bem-estar social no longo prazo, uma vez que essa metodologia é baseada em um modelo *walrasiano* de equilíbrio geral, o qual o equilíbrio entre oferta e demanda é atingindo por preços flexíveis (GHOSH, 2007).

No final década de 90, Diao *et al.* (1996) propuseram um modelo EGC que incorporasse P&D com base na teoria do crescimento econômico endógeno. Para tanto, os autores dividiram o capital

em: capital físico e capital *knowledge*, sendo esse caracterizado como o fator de produção realizado pelo setor P&D. Esse trabalho foi o pioneiro nessa estratégia de modelagem e serviu de embasamento para o desenvolvimento de outros modelos (Sue Wing (2001), Zürn *et al.* (2007), Garau e Lecca (2008), Bor *et al.* (2010) e Kristková (2012)), que além de introduzirem o P&D analisaram outros aspectos: produtividade, crescimento econômico e mudança climática.

Como pôde-se observar anteriormente, a modelagem EGC com a incorporação de P&D foi desenvolvida para analisar questões que envolvam mudanças tecnológicas na estrutura econômica. Essa modelagem é adequada para a avaliação de políticas que tenham o objetivo de estimular mudanças técnicas setoriais, visando o aumento de produtividade e melhoria na competitividade, pois permite a construção de cenários que ajudam a estabelecer resultados quantitativos para o propósito do *policy maker*.

4 METODOLOGIA

O modelo BIM-GERD está desagregado para 62 setores e 91 produtos da economia brasileira. A base de dados parte de uma estrutura de insumo-produto que, nesse caso, mostra a relação Produto x Setor. A construção da base de dados se fez por meio Sistema de Contas Nacionais (SCN) de 2011⁶. Para incluir a especificação de investimento em P&D e formação de capital *knowledge*, utilizou-se a aproximação de *Terleckyj*⁷. Os dados de realização de P&D foram obtidos da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC), que dispõem de dados segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE 2.0. Além disso, reconhecido a importância do setor da agricultura para o país, utilizou-se dados da *Agricultural Science and Technology Indicators* (ASTI) referentes a quantidade de P&D realizado por esse setor no Brasil.

Figura 1 – Matriz Base de Dados com investimento em P&D e capital *knowledge*

	Setor(1)	Setor(2)	Setor(3)	...	Setor(j)	Invest.	Famílias	Gov.	Invest. em P&D	Export.	Estoque	Total
C(1)	I quadrante Consumo Intermediário					II quadrante Demanda Final						
C(2)												
C(3)												
...												
C(i)												
Trab.	III quadrante Valor Adicionado											
Cap.												
Terra												
Knowledge												
Total												

Figura 1 – Matriz Base de Dados com investimento em P&D e capital *knowledge*

Fonte: Adaptada de Zürn *et al.* (2007, p13).

A Figura 1 mostra a base de dados com a especificação do investimento em P&D e capital *knowledge*. O primeiro quadrante mostra as transações intermediárias de compra e venda de insumos. O segundo representa a demanda final, composta por investimento, famílias, governo, investimento em P&D, exportação e estoques. E por fim, no terceiro é exibido o valor adicionado formado por trabalho, capital, terra e capital *knowledge*.

⁶ A base de dados foi construída no Laboratório de Análises Territoriais e Setoriais (LATES) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), disponível em: <<http://www.ufjf.br/lates/publicacoes/textos-para-discussao>>.

⁷ A aproximação de *Terleckyj* foi desenvolvida por Terleckyj (1974) com objetivo de analisar os efeitos da P&D na produtividade. O processo de extração e especificação destas no modelo BIM-GERD pode ser obtidas em Pio, Gomes Perobelli (2016). <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/8022.pdf>>.

4.1 A Estrutura Teórica do Modelo BIM-GERD

A estrutura teórica do modelo BIM-GERD segue os pressupostos de uma estrutura padrão de equilíbrio geral Arrow-Debreu, sendo que as equações de demanda e oferta para os setores são derivadas de soluções para problemas de otimização que especifica o comportamento dos agentes com base na teoria microeconomia neoclássica.

O sistema de equações são construídos em conjuntos de blocos que compõem o núcleo central no modelo. Esses blocos descrevem o comportamento de seis grupos de agentes: Produtores; Investidores, que determinam a criação do capital; Investidores em P&D, que destinam a criação do capital *knowledge*; Familiares; Governos; e Consumidor externo (exportações). Ademais, o modelo também reconhece quatro fatores de produção: Trabalho, Capital, Terra e Capital *Knowledge*.

A Figura 2 apresenta a estrutura aninhada da tecnologia de produção do modelo BIM-GERD. Tal figura é dividida em duas partes: a Parte I refere-se à estrutura de substituição entre bens domésticos e importados; a Parte II corresponde à estrutura de substituição de insumos primários, no qual é inserido um novo fator, o capital *knowledge*.

No primeiro nível da estrutura aninhada, é adotada a hipótese de combinação fixa, determinado por uma tecnologia Leontief, entre os insumos utilizados no processo de produção. No segundo nível há a possibilidade de substituição entre os insumos intermediários produzidos domesticamente e importados. Além disso, existe a possibilidade de substituição entre os fatores primários. Todas as substituições de insumos e fatores primários são realizados por meio de uma função *Constant Elasticity of Substitution* (CES).

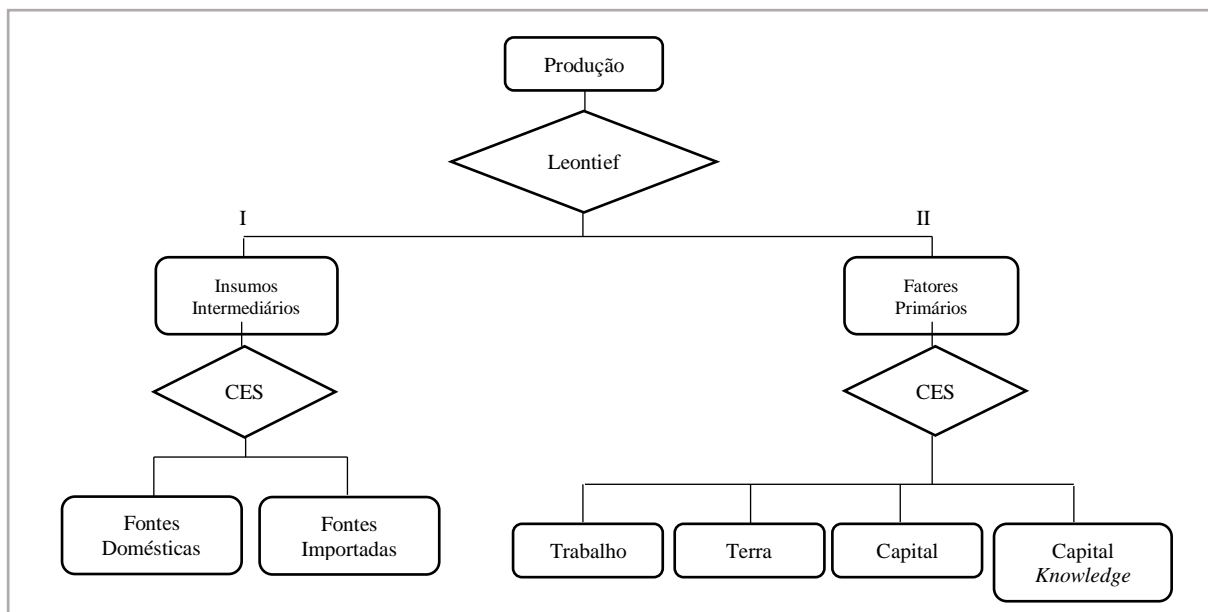


Figura 2 – Estrutura aninhada de tecnologia de Produção

Fonte: Adaptado a partir de King (2012).

Essa estrutura de tecnologia de produção mostra que à medida que o estoque de capital *knowledge* aumenta, a quantidade necessária de insumos primários, para produzir o mesmo volume de bens diminui. Ou ainda, é possível aumentar a produção com a utilização de proporções menores de trabalho, capital e terra. Esse fenômeno é denominado aumento de produtividade.

Dessa forma, após um choque exógeno no estoque de capital *knowledge* será possível observar os aumentos na eficiência produtiva e no percentual transferido via efeito transbordamento⁸.

5 RELAÇÕES E CARACTERÍSTICAS INSUMO-PRODUTO DO BRASIL EM 2011

Nessa parte do artigo, o objetivo é analisar o banco de dados do modelo que representa um retrato da economia brasileira para o ano de 2011. Os dados utilizados para essa avaliação, portanto, correspondem às informações de insumo-produto que representam os fluxos econômicos entre os 62 setores da economia utilizados na calibragem do modelo BIM-GERD. Ressalta-se que o foco principal é direcionado aos setores selecionado pela política de ENCTI. A Tabela 2 destaca os 12 setores identificados na matriz insumo-produto que correspondem as 6 áreas definidas pela ENCTI.

Tabela 2 - Setores da matriz insumo-produto correspondentes as áreas estratégicas definida na ENCTI

Setores	Áreas da ENCTI
S1 Agricultura e Outros	Alimentos
S14 Refino de petróleo e coqueiras	
S15 Fabricação de biocombustíveis	Energia
S32 Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	
S16 Fabricação de Produtos Químicos	
S17 Fab. de produtos de limpeza	Complexo industrial da saúde
S18 Fab. Prod. farmoquímicos e farmacêuticos	
S45 Telecomunicações	Aeroespacial e Defesa
S55 Adm. pública, defesa e seguridade social	
S24 Fab de eq. de informática, eletrônicos	TIC
S46 Desenv. de sistemas e serviços de informação	
S51 atividades profissionais, científicas e técnicas	Tecnologias Convergentes e Habilitadoras

Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 3 é apresentado a participação setorial nas vendas totais do setor para cada uma das formas de uso identificadas no banco de dados: Consumo Intermediário, que representa os valores de produção do setor destinados a utilização de insumos por outros setores; Investimentos; Consumos das Famílias; Exportações; Consumo do Governo; e Estoques.

De modo geral, os setores selecionados pela ENCTI concentram suas vendas no consumo intermediário e no consumo das famílias com mais de 90% do total de vendas. A exceção é o setor S45 com 83% das vendas direcionadas ao investimento e o S55 com 94% no consumo do governo.

Os setores com maior destaque para o fornecimento de insumos primários, ou seja, aqueles cuja produção se destina ao consumo intermediário e que representa mais de 70% da sua produção total são os S16 e S24. Para o consumo das famílias, por sua vez, destacam-se os setores S17 e S18, com 67% e 58%, respectivamente. Com relação as exportações, todos os setores possuem baixa participação de suas vendas destinado a esse fim, sendo os setores com maior percentual os: S1, S16 e S51, com 22%, 10% e 17% nesta ordem.

⁸ No apêndice é apresentado as equações da estrutura de produção do modelo e as da efeito da mudança tecnológica. Para uma descrição mais detalhada sobre a construção do modelo e das equações comportamentais ver Pio, Perobelli e Gomes (2016) - <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/8022.pdf>>.

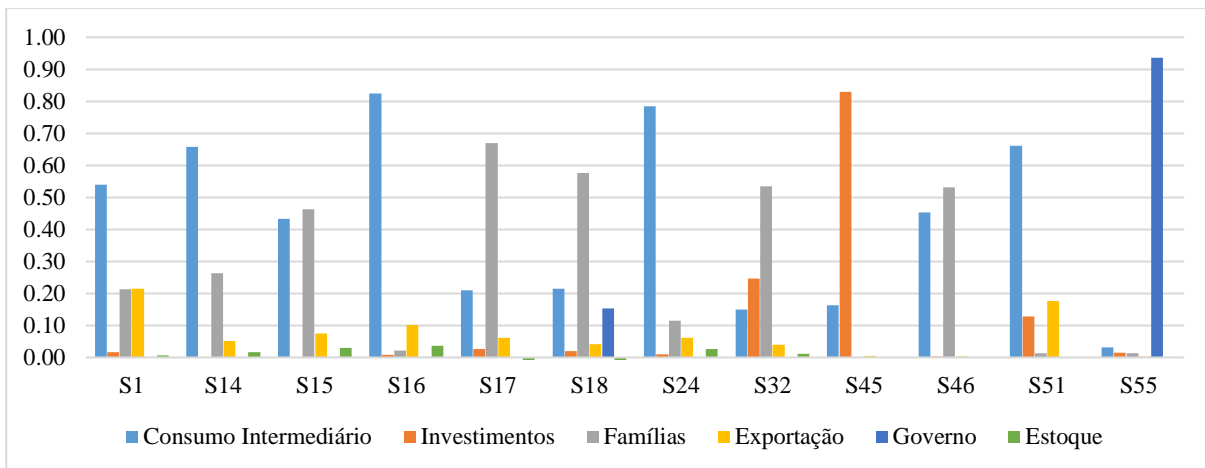


Figura 3 - Participação de cada forma de uso nas vendas setoriais

6 ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO E EFEITO SISTÊMICO

O modelo BIM-GERD, na sua versão condensada, contém 9066 variáveis e 7014 equações. Portanto, é necessário exogenizar 2052 variáveis. O fechamento utilizado para avaliação da política do ENCTI é de longo prazo. Nesse caso, as hipóteses adotadas permitem que o equilíbrio de estado estacionário seja alcançado, sendo que, o estoque de capital e salário real são endógenos para responder aos mecanismos de propagação sistêmica definidos no modelo, isto é, permite que a força de trabalho e o capital se aloque entre os setores da economia. Como o propósito deste trabalho é analisar os efeitos da mudança do estoque de capital *knowledge* na economia, tornou-se essa variável exógena, de modo a permitir que choques exógenos possam ser realizados a partir dessa variável.

A utilização do fechamento de longo prazo se justifica pelo fato dos investimentos em P&D não produzirem efeitos no curto prazo, pois as mudanças relevantes requerem um determinado período de tempo. Sendo assim, o exercício de simulação implementado consiste no aumento do estoque de capital *knowledge* dos setores da economia brasileira, que pode ocorrer devido ao aumento dos investimentos em P&D e ou por meio da ampliação da capacidade de absorção tecnológica, que no caso desta pesquisa é justificada pela implementação do ENCTI.

Nos resultados dos exercícios de simulação são analisados: i) os efeitos econômicos da mudança do estoque de capital *knowledge* nos setores da economia brasileira; ii) os efeitos dessa variação na produtividade dos setores; iii) os efeitos sobre o nível de exportação agregado e setorial; e iv) os transbordamentos tecnológicos intersetoriais da economia.

Com o objetivo de realizar uma simulação que permita esboçar possíveis efeitos dos incentivos da política da ENCTI foi construído dois cenários no qual assume-se que os setores que receberam o estímulo atingiram determinado nível de estoque de capital *knowledge*.

Na primeira estratégia de simulação foi realizado um choque de 1% (positivo) no estoque de capital *knowledge* dos setores selecionados pela ENCTI. Portanto, nesse simulação, assumiu-se que os setores atingiram o nível necessário de capacidade de absorção tecnológica, devido aos incentivos da ENCTI, capaz de gerar aumentos no estoque capital *knowledge*. Essa estratégia permite identificar as possíveis consequências de um resultado bem sucedido da ENCTI, bem como analisar os principais efeitos sistêmicos na economia em termos agregados e setoriais.

Visando identificar os setores que são capazes de impulsionar a economia de forma mais eficiente e os que possuem maiores efeitos encadeamentos, na segunda estratégia de simulação realizou-se um choque de 1% em todos os setores indicado pela ENCTI de forma sequencial. Isto

é, diferente da estratégia indica anteriormente, onde o choque é realizado de forma simultânea em todos os setores, nesse é realizado individual de forma consecutiva em cada setor.

Cabe destacar que embora os valores dos choques exógenos sejam construído sem uma base teórica e empírica, os objetivos da ENCTI, especificados na introdução, fazem com que o cenário estruturado seja passível de ser alcançado, isto é, torna-se factível.

6.1 Efeitos sistêmicos nas relações causais

A descrição do efeito sistêmico segue as especificações descritas por Pio, Perobelli e Gomes (2016). O modelo BIM-GERD incorporar uma especificação detalhada do investimento em P&D e formação de capital *knowledge*, isso permite identificar os efeitos sistêmicos em decorrência a modificações na produtividade. Dessa forma, espera-se que os setores que apresentem aumento (declínio) do estoque de capital *knowledge* elevem (diminuem) seu nível de atividade econômica.

O principal efeito do aumento no estoque de capital *knowledge* sobre o sistema econômico ocorre por meio da redução da necessidade de utilização de fatores primários (Capital + Trabalho + Terra) para produzir a mesma quantidade de bens, isto é, ocorre um aumento na produtividade dos setores.

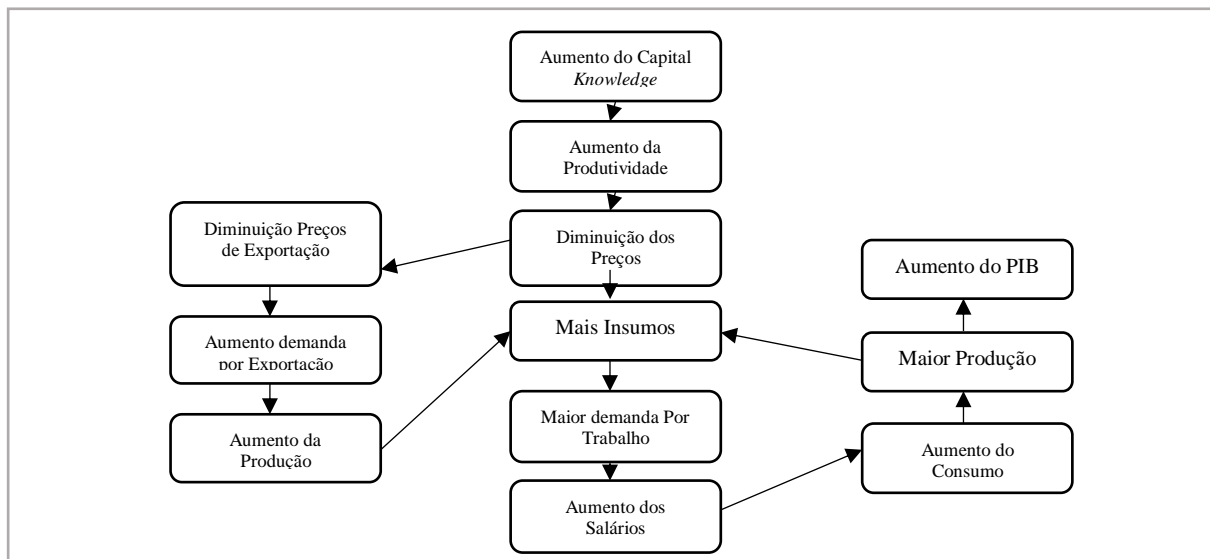


Figura 4 - Relações Causais do Modelo após uma Variação no Estoque de Capital *Knowledge*
Fonte: Adaptado a partir de King (2012)

Como pode ser observado na Figura 4, após um choque positivo no estoque de capital *knowledge* setorial ocorre um redução do nível de preço na economia. Isso leva a um aumento da demanda por exportação e, conseqüentemente, a uma elevação do nível de atividade da econômica. Ademais, o nível de produção tende a deslocar a demanda por trabalho que, por sua vez, proporciona um maior nível de renda para as famílias, resultando em aumento no consumo. Todos os efeitos descritos contribuem para o aumento do PIB da economia.

7 RESULTADOS

7.1 Resultados Simulação 1

Resultados Agregados

Na Tabela 5 são apresentados os resultados macroeconômicos de longo prazo da simulação. Como esperado, devido ao efeito sistêmico, o aumento do estoque de capital *knowledge* provoca redução no nível de preços da economia, com destaque para redução nos preços do consumidor e exportação que obtiveram as maiores quedas. Como consequência, ocorre aumentos no nível de atividade econômico induzido pelo aumento do consumo e elevação do volume de exportação. O resultado geral de longo prazo implica em um maior nível de PIB e salário real, o que provoca um variação equivalente totalizada em R\$ 65,83.

Tabela 5 - Resultados agregados de longo prazo (em variação %)

Variáveis	Valor
Preços	
Índice de preços de investimento	-0.003
Índice de preços de investimento em P&D	-0.009
Índice de preços do consumidor	-0.005
Índice de preços da demanda do governo	-0.002
Índice de preços das exportações	-0.005
Índice de preços do PIB	-0.004
Fatores Primários	
Remuneração agregada do capital	-0.001
Remuneração agregada do capital <i>knowledge</i>	-0.215
Remuneração agregada do trabalho	0.002
Remuneração agregada da terra	0.010
Estoque de capital agregado	0.002
Demanda Agregada	
Consumo real agregado das famílias	0.003
Investimento real agregado	0.001
Investimento em P&D real agregado	0.000
Demanda real agregada do governo	0.003
Volume de exportações	0.005
Outros indicadores agregados	
PIB real	0.003
Salário Real	0.006
Variação Equivalente (R\$ milhões)	65.829

Fonte: Elaboração própria.

Resultados Setoriais

A Figura 5 apresenta os resultados das simulações sobre a produtividade e os transbordamentos intersetoriais⁹. O efeito do aumento do estoque de capital *knowledge* sobre a produtividade está associado à redução na utilização dos fatores primários para produzir o mesmo volume de produção.

Como esperado, os setores que obtiveram o maior incremento na produtividade foram os setores que recebem o choque exógeno, com destaque para os S17, S24 e S32 que alcançaram os maiores resultados, 0,2%, 0,5% e 0,6% respectivamente.

De modo geral, todos os setores obtiveram aumentos em sua produtividade (exceto o setor S56(educação pública) e S62(Serviços Domésticos) que são intensivos em trabalho, e o aumento da remuneração desse fator afeta diretamente suas produtividades). Isso ocorre devido ao grau de interdependência dos setores que receberam o choque. No ponto de vista teórico, conforme

⁹ O aumento de produtividade refere-se à diminuição do uso dos fatores para produzir a mesma quantidade, portanto, na Figura são apresentados com o sinal invertido para melhor visualização do efeito. Resultado inverso ocorre no caso de uma diminuição da produtividade.

salientado por Griliches (1979), os efeitos do aumento do estoque capital *knowledge* não se restringem apenas aos setores que atingiram tal incremento, pois ocorrem transbordamentos, e a magnitude desses depende do grau de interdependência setorial da economia. Como destacado na análise descritiva da base de dados, os setores selecionados pelo ENCTI são, em sua maior parte, setores chaves ou possuem fontes encadeamentos, isso conduz a um maior efeito sistêmico na economia.

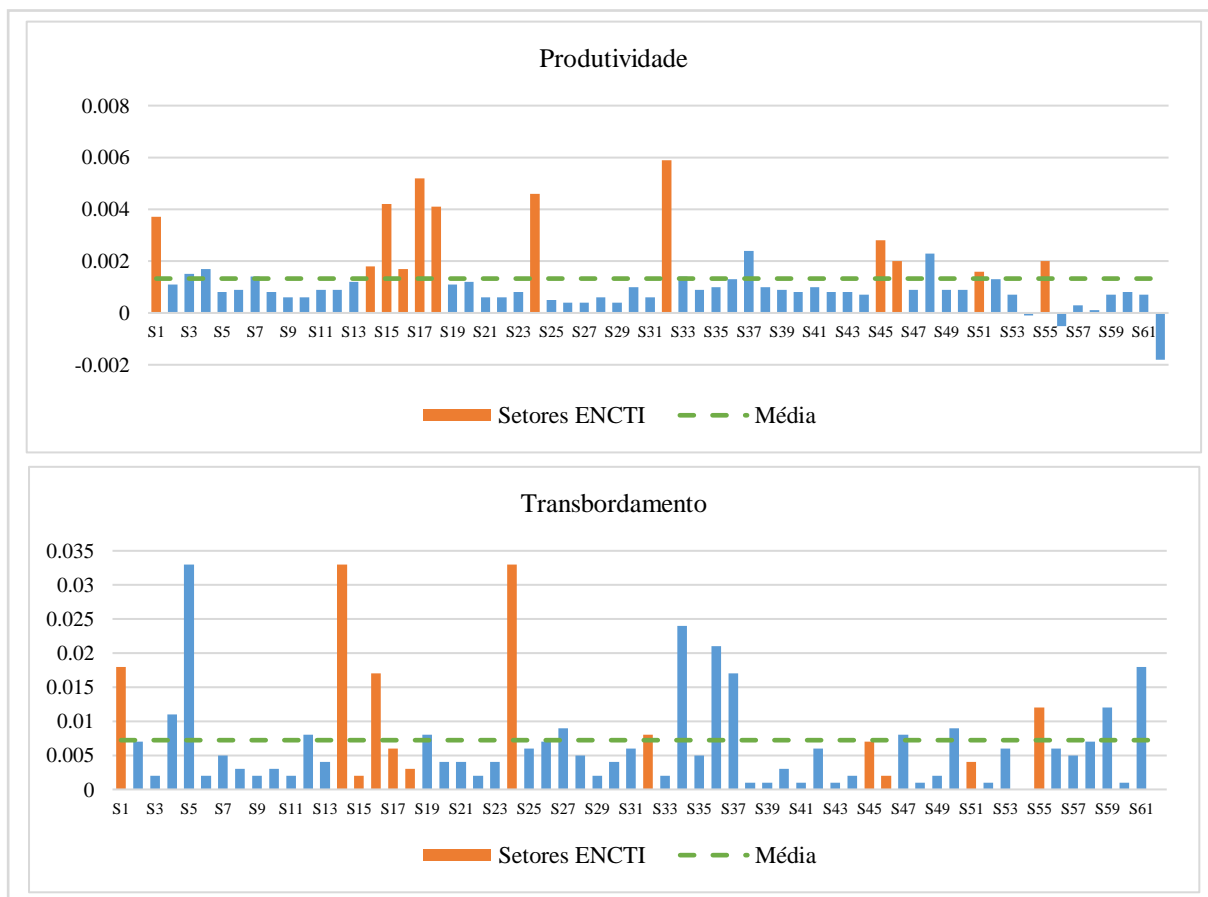


Figura 5 - Resultados de longo prazo da variação do estoque de capital *knowledge*, Produtividade e Transbordamentos (variação %)

Esse resultado é evidenciado pelo efeitos transbordamentos apresentados na Figura 5¹⁰. Como esperado, os setores com transbordamentos acima da média concentram-se nos selecionados pela ENCTI, com destaque para os S1, S14 e S24, com 1,8%, 3,3% e 3,3% respectivamente. Ressalta-se que dentre os setores não selecionados pela ENCTI, os S5 (Produção de Alimentos) e S34 (Construção) obtiveram os maiores resultados acima da média nos transbordamentos. Ao analisar os índices de ligação desses setores, obteve-se que o S5 é um setor chave e S34 um setor com forte encadeamento para trás e alto poder de dispersão. Isso indica que são setores com alta capacidade de absorção tecnológica.

¹⁰O efeito transbordamento adotado refere-se a quantidade de capital *knowledge* de outros setores incorporado da produção de um setor, ocorrido nas transações intersetoriais.

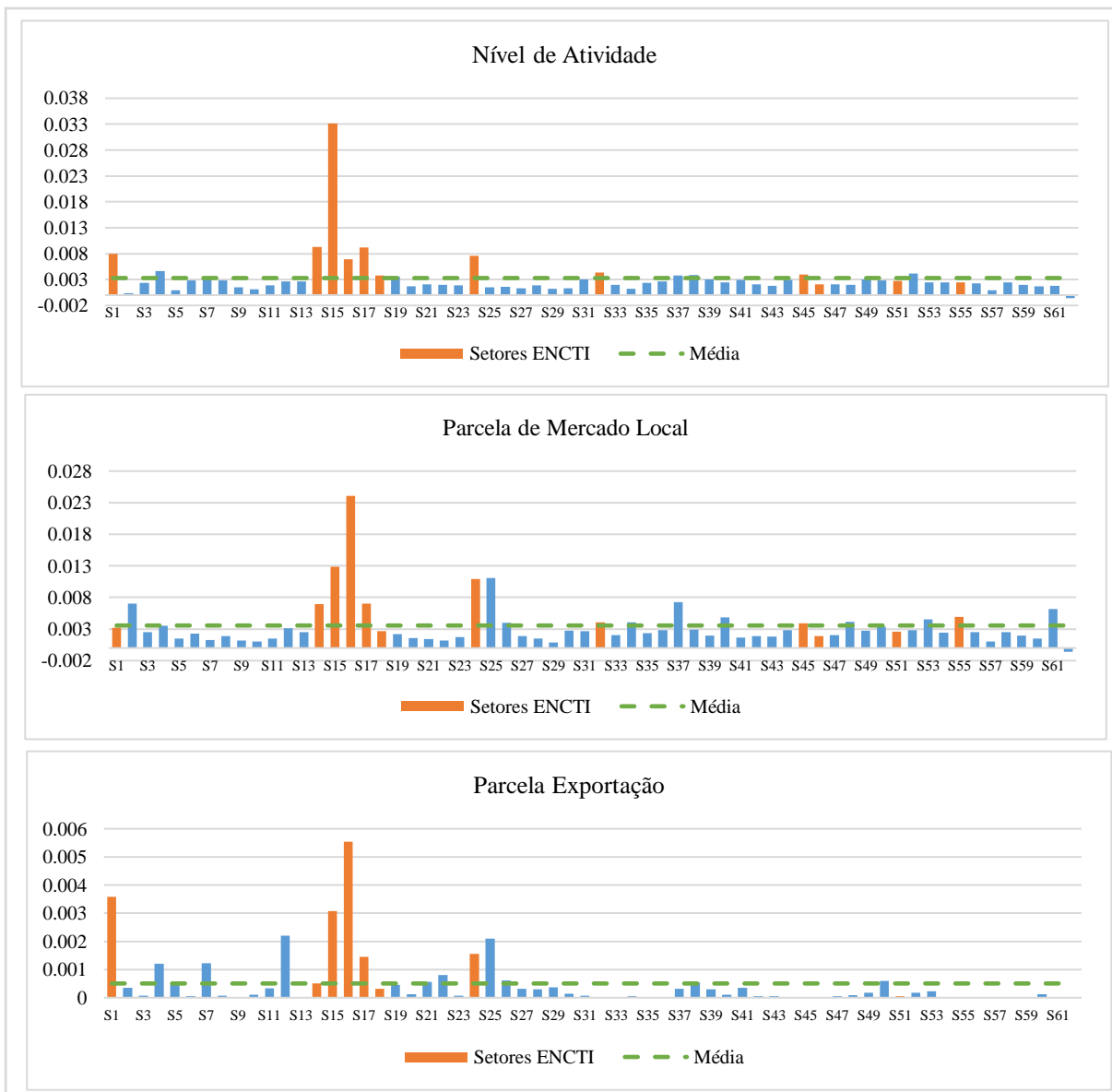


Figura 6 – Resultados de longo sobre o Nível de Atividade, Parcela de exportação e Parcela de Mercado Local (variação %)

Na Figura 6 são apresentados os resultados sobre o nível de atividade econômica. Todos os setores ampliaram sua produção (exceto o setor S62), sendo que os setores selecionado da ENCTI, como esperado, obtiveram o maiores níveis, com destaque para S1, S14 S15 e S17 e S24, com 0,79%, 0,93%, 3.32% e 0,92% respectivamente. Três setores dos “não selecionados”, S4 (Indústrias Extrativas), S19 (Fabricação de produtos de borracha e de material plástico) e S52 (Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual), obtiveram um resultado acima da média no nível atividade.

Embora todos os setores tenham aumentado seu nível de atividade produtiva, ao analisar a parcela destina a exportação, na Figura 6, apenas cinco setores dos selecionados pela ENCTI obtiveram resultados acima da média, o S1 (0,36%), que é um setor originalmente exportador da economia brasileira, e os que “emergiram” em termos exportação, os S15 (0,31%), S16 (0,55%), S17(0,15%) e S24 (0,16%).

Ainda que não tenham recebido um choque exógeno no estoque de capital *knowledge*, a maior parte dos setores “não selecionados” pela ENCTI ampliam suas parcelas de exportação, com resultados acima da média para os setores S4 (Indústrias Extrativas), S7(Fabricação de Fumo), S12(Fabricação de celulose, papel e produtos de papel) e S25 (Fabricação de máquinas e equipamentos eletrônicos), com 0,12%, 0,12%, 0,22% e 0,21% respectivamente. Isso indica que grau de interdependência setorial contribui para os transbordamentos tecnológicos, elevando o nível de produtividade e competitividade dos setores da economia brasileira.

Por fim, embora o aumento da produtividade tenha elevado o nível de competitividade resultando em um inserção no mercado externo, como assinalado anteriormente, a maior parte do aumento do nível de atividade produtiva foi direcionado a atender o mercado local. Na Figura 6 constata-se que todos os setores ampliaram seu domínio no mercado local, com destaque, novamente, para os setores S15 (1,29%) e S16 (2,41%), dos selecionados pela ENCTI e S25(1,11%) e S37(0,73%) dos “não selecionados”.

Como resultado geral da simulação, destaca-se que o aumento do estoque de capital *knowledge* nos setores selecionados pela ENCTI produz efeitos positivos em todo o sistema econômico. Isso ocorre porque esses setores possuem forte encadeamento setorial, o que amplia os resultados sobre a produtividade movido pelo efeito transbordamento. Como consequência, no longo prazo os setores da economia brasileira encontram-se com maior nível de produtividade e competitividade, o que produz efeitos positivos sobre os indicadores de bem estar, PIB, salário real e Variação Equivalente.

7.2 Resultados simulação 2

Resultados Agregados

Na Figura 7 são apresentados os resultados agregados de longo prazo para o Consumo Real, Investimento Real, Volume de Exportação, PIB real, Salário Real e Variação Equivalente, todos em decorrência ao choque exógeno sequencial de 1% no estoque de capital *knowledge* em cada setor da ENCTI. Novamente, o objetivo é identificar o setor com maior capacidade de estimular a economia devido ao aumento de seu estoque de conhecimento.

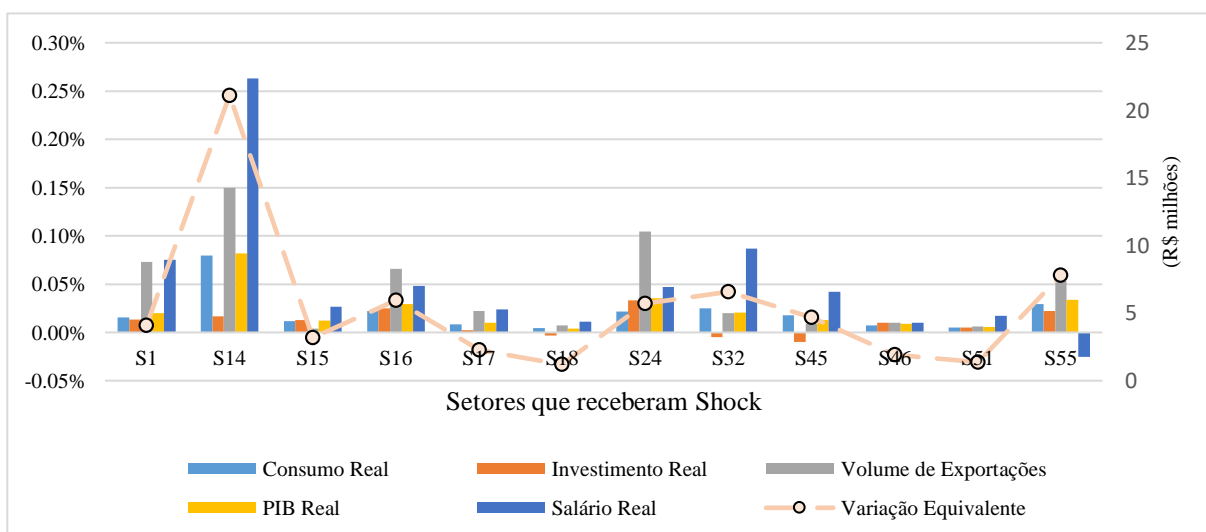


Figura 7 - Resultados agregados de longo prazo (em variação %) e Variação Equivalente (em milhões de reais)

Constata-se que o setor S14 tem a maior capacidade de estimular os indicadores agregados da economia brasileira, com destaque para o salário real (0,26%) e volume de exportações (0,15%), resultando em uma modificação no PIB de 0,08% e variação equivalente de R\$ 21,11 milhões. Ademais, os setores S16 e S24 são os que mais estimulam o investimento real na economia, e os S1 e S16 também possuem alta capacidade de elevar o volume de exportações do Brasil.

Resultados setoriais

Para a análise setorial foi considerado o efeito do choque exógeno sobre cinco grupos de setores, isto é, os 62 setores foram agregados em: Agricultura e outros, Indústria extrativa, Indústria de transformação, SIUP + Construção e Serviços. O objetivo foi facilitar a interpretação e a apresentação dos resultados.

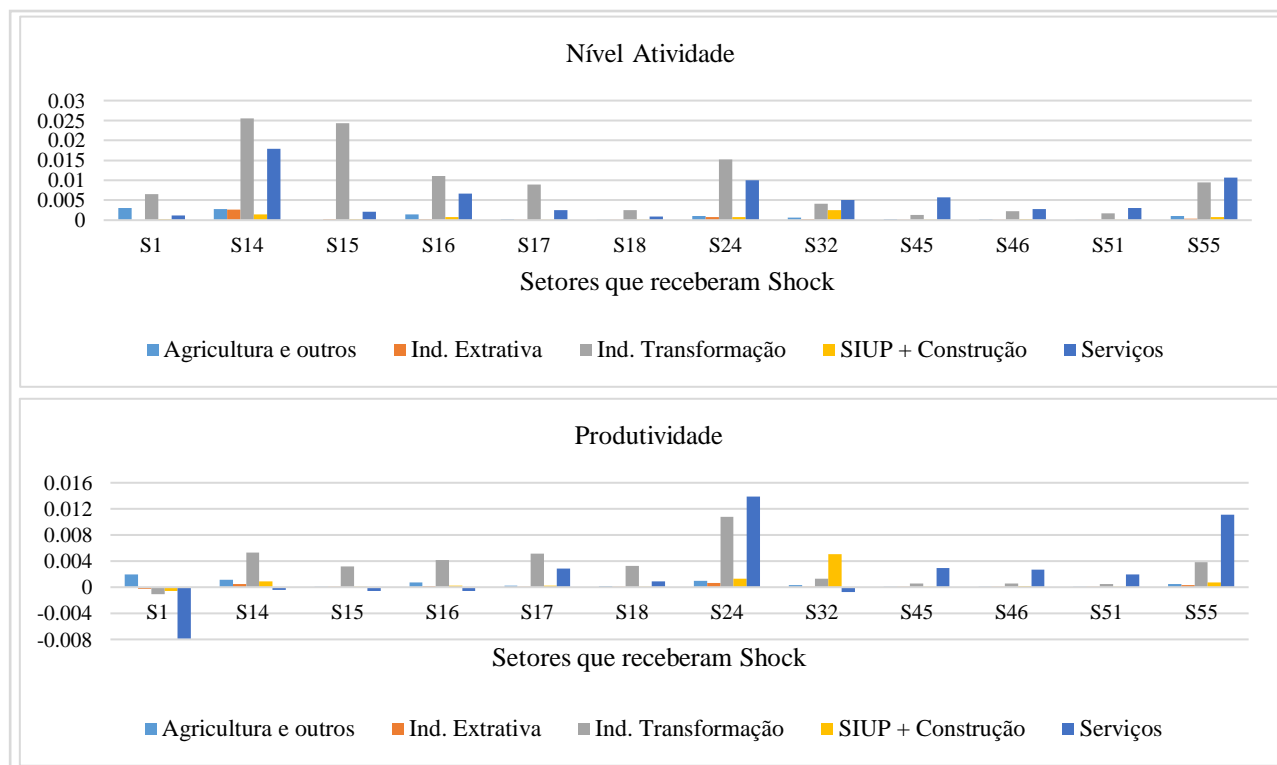


Figura 8 - Resultados de longo prazo da variação do estoque de capital *knowledge*, Produtividade e Transbordamentos (Grupo de Setores em variação %)

Na Figura 8 observa-se que o setor S14 foi o que mais estimulou o nível de atividade na economia, sendo os grupos de Indústria de transformação (2,56%) e Serviços (1,79%) com os maiores resultados. Ademais, os setores S16, S24 e S55 também possuem elevada capacidade de estimular o nível de atividade econômica, principalmente dos grupos de Indústria e transformação e Serviços.

Com relação ao efeito sobre a produtividade, também apresentado na Figura 8, constata-se que os setores S24 e S55 são os que mais impulsionam a elevação da produtividade na economia, principalmente nos grupos de Indústria de transformação e Serviços. Cabe destacar que o S14 é o principal setor que eleva a produtividade da indústria extrativa e o S32 o da SIUP + Construção. Além disso, o choque exógeno no setor S1 provocou a redução da produtividade do grupo de serviços, resultado que pode ser explicado pela substituição de mão de obra no setor de agricultura.

Os efeitos encadeamentos sobre a produtividade estão ligados os transbordamentos tecnológicos, que acabam por contribuir para uma maior inserção dos setores no mercado local e também no mundial via aumento da competitividade. Na Figura 9 observa-se que os setores S14, S16, S24 e S55 são os que possuem a maior capacidade de estimular a economia na ampliação do mercado local, principalmente, nos grupos de Indústria de transformação e Serviços.

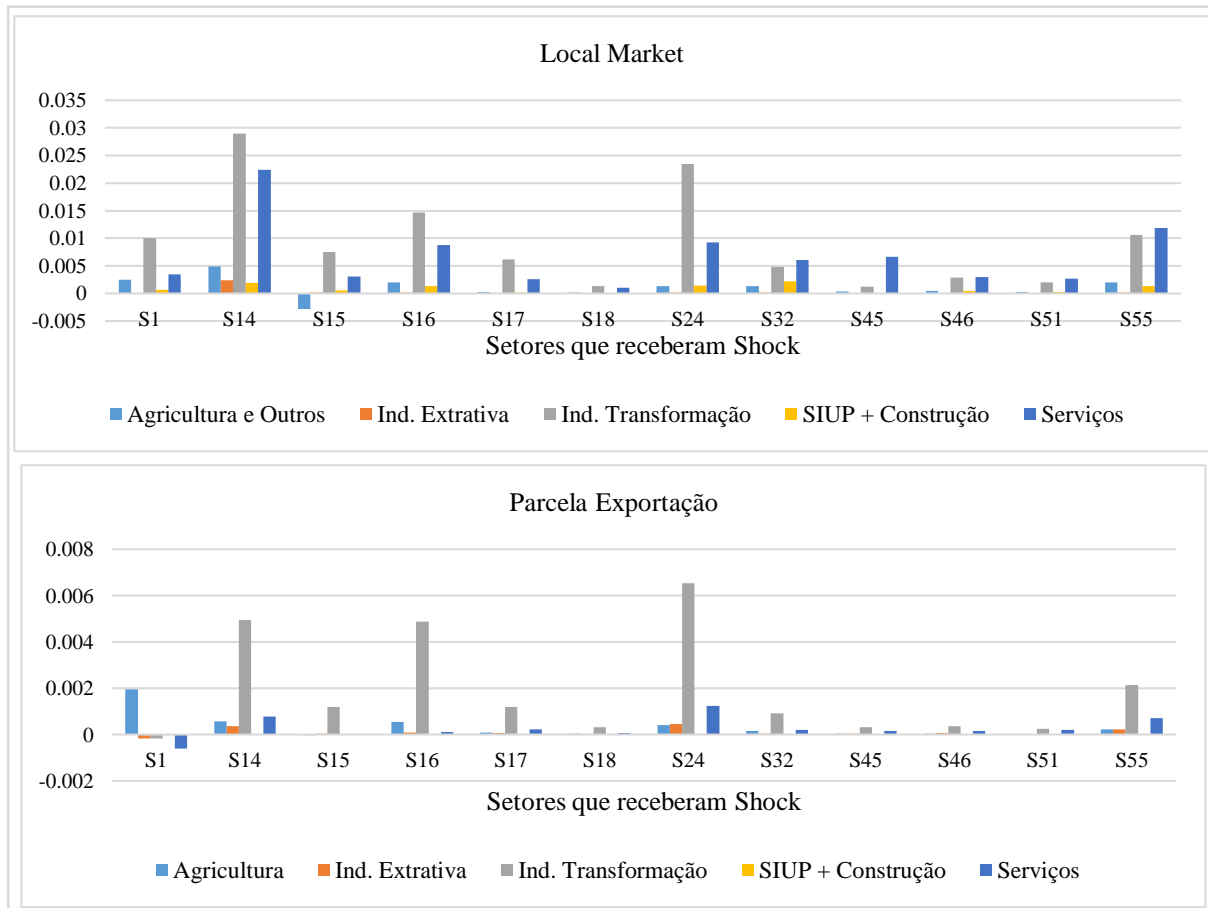


Figura 9 – Resultados de longo sobre a Parcela de Mercado Local e Parcela de Exportações (Grupo de Setores em variação %)

Com relação à inserção no mercado internacional, os mesmos setores são os principais responsáveis pelo condução da economia ao novo patamar após o choque exógeno. Porém, apenas o grupo de setores da Indústria de transformação obteve resultados expressivos na parcela de exportação. Além disso, o choque no setor S1 induz, como esperado, a uma maior inserção do grupo de Agricultura e outros no mercado exportador e uma redução dos demais grupos.

CONCLUSÕES

Objetivo deste trabalho foi analisar os possíveis efeitos da política de Estratégia Nacional de Ciência e Tecnologia Inovação 2016 - 2019. Por meio das metas definidas na ENCTI, foi criado dois cenários para realização das simulações com o modelo BIM-GERD. No primeiro cenário foi realizado um choque uniforme de 1% no estoque de *knowledge* dos setores definidos na política. O objetivo foi identificar os efeitos sobre o nível setorial e macroeconômico da economia brasileira mediante a concretização da política.

No segundo cenário, realizou-se um choque de 1% nos mesmos setores, porém, de forma sequencial. Nesse, o objetivo foi identificar a capacidade de cada setor em estimular economia via aumento de produtividade e transbordamentos tecnológicos. Tais procedimentos tiveram o propósito de preencher uma lacuna do ENCTI 2016-2019 referente à ausência de metas quantitativas, bem como objetivaram conferir o maior nível de precisão (realismo) aos choques na formação de capital *knowledge* implementados no modelo BIM-GERD.

Os resultados da simulação com o modelo BIM-GERD indicaram que o aumento no estoque de capital *knowledge* nos setores selecionados pela ENCTI produz efeitos positivos em todo sistema produtivo da economia brasileira, conferindo maior nível de produtividade em todos os setores. Isso ocorre porque esses setores possuem forte encadeamento setorial, isto é, as relações de interdependência permitem que o capital *knowledge* seja “transferido” em sua forma incorpora via efeito transbordamento, conforme salientado por Griliches (1979),

Para o primeiro cenário, o aumento da produtividade setorial induziu ao um maior nível de atividade produtiva, sendo parte dessa destinada ao mercado externo. Os setores como S1 (Agricultura e outros), S15 (Fabricação biocombustível), S16 (Fabricação de produtos químicos) e S25 (Fabricação de máquinas e equipamentos eletrônicos) obtiveram as maiores inserções no mercado exportado. Esse resultado mostra que o aumento do estoque de capital *knowledge* foi capaz de induzir a competitividade de tal modo que produtos intensivos em tecnologia passaram a ter destacar na pauta de exportação da economia brasileira.

Embora o aumento da produtividade tenha resultado em uma maior inserção no mercado externo, o efeito predominante se direcionou ao domínio do mercado interno para atender ao maior nível de atividade. Todos os setores da economia brasileira ampliaram de forma significativa sua parcela de mercado local, com destaque, novamente, para os setores intensivos em tecnologia S16 e S25.

Cabe ressaltar que setores como S4 (Indústrias Extrativas) e S25 (Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos), embora não tenha recebido o choque exógeno no estoque de capital *knowledge*, obtiveram resultados significativos na parcela de exportação e no mercado interno. Além disso, possuem forte efeito transbordamento, o que implica que são setores importante para promover a difusão do conhecimento da economia brasileira. Dessa forma, a inclusão desse setores na ENCTI pode elevar os resultados da política.

Os resultados para o segundo cenário mostraram que os setores S14 (Refino de petróleo e coqueiras), S24 (Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos) e S55 (Administração pública, defesa e seguridade social) são os que possuem maior capacidade de estimular a economia como um todo, conferindo maior nível de atividade, produtividade e competitividade.

Dessa forma, com os resultados macroeconômicos e setoriais projetados na simulação, espera-se que possam servir de apoio para a formulação de políticas de desenvolvimento tecnológico. Conforme destacado, este trabalho contribuiu para o preenchendo da lacuna deixa pela ENCTI 2016 - 2019, referente a definição de metas e a prováveis resultados macroeconômicos e setoriais de longo prazo.

REFERÊNCIAS

AGHION, P., HOWITT, P. (1992). A Model of Growth through Creative Destruction, *Econometrica*, vol. 60, pg. 323–51.

- BETARELLI, A. A., PEROBELLI, F, S.; VALE, V, A. (2015). **Estimação da matriz de Insumo-Produto de 2011 e análise do sistema produtivo brasileiro**. Texto para Discussão n. 001/2015. Juiz de Fora: Programa de Pós Graduação em Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora.
- BOR, Y. J. *et al.* (2010). A dynamic general equilibrium model for public R&D investment in Taiwan. **Economic Modelling**, v. 27, n. 1, p. 171-183.
- CERULLI, G.; POTI, B. (2009). Measuring intersectoral knowledge spillovers: an application of sensitivity analysis to Italy. **Economic Systems Research**, v. 21, n. 4, p. 409-436.
- DIAO, X. *et al.* (1996). **A dynamic CGE model: an application of R&D-based endogenous growth model theory**. University of Minnesota, Economic Development Center, 1996.
- DIETZENBACHER, E., LOS, B. (2002). Externalities of R&D expenditures. **Economic Systems Research**, v. 14, n. 4, p. 407-425, 2002.
- GARAU, G., LECCA, P. (2008). Impact Analysis of Regional Knowledge Subsidy: A CGE Approach. Working Papers CRENoS, v. 11. p. 36.
- GHOSH, M. (2007). R&D Policies and Endogenous Growth: A Dynamic General Equilibrium Analysis of the Case for Canada*. **Review of development economics**, v. 11, n. 1, p. 187-203.
- GRILICHES, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. **The Bell Journal of Economics**, v. 10, n. 1, p. 92-116.
- HONG, C. *et al.* (2014). Validation of an R&D-based computable general equilibrium model. **Economic Modelling**, v. 42, p. 454-463.
- KELLER, W. (2004). International Technology Diffusion. **Journal of Economic Literature**, v. 42, n. 3, p. 752-782.
- KŘÍSTKOVÁ, Z. (2012). Impact of R&D Investment on Economic Growth of the Czech Republic-A Recursively Dynamic CGE Approach. **Prague Economic Papers**, v. 2012, n. 4, p. 412-433.
- KOO, J. (2005). Technology spillovers, agglomeration, and regional economic development. **Journal of Planning Literature**, v. 20, n. 2, p. 99-115.
- JAFFE, A. B. (1986). Technological Opportunity and Spillovers of R & D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value. **The American Economic Review**, p. 984-1001.
- MASKUS, E. K. (2004). Encouraging international technology transfer. **International Centre for Trade and Sustainable Development**, Geneva, Switzerland.
- OECD, OECD Science. (2016). **Technology and Industry Scoreboard 2009**, OECD Publishing, Paris, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2009-en>. Acesso em: 12 jul. 2016.

PIO, J., PEROBELLI, S. F., GOMES, L. G. (2016). Impacts of expenditures on research and development on the Brazilian economy: A CGE approach. **2016 Conference GTAP**.

SCHERER, M. (1986). Inter-industry technology flows and productivity growth. **The review of economics and statistics**, p. 627-634.

SEGERSTROM, P. S., ANANT, T. C., DINOPOULOS, E. (1990). A Schumpeterian model of the product life cycle. **The American Economic Review**, p. 1077-1091.

SHIH, H., CHANG, S. (2009) International diffusion of embodied and disembodied technology: A network analysis approach. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 76, n. 6, p. 821-834.

SUE WING, I. (2001). Induced technical change in computable general equilibrium models for climate-change policy analysis. 2001. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology.

TERLECKYJ, N. E. (1974) Effects of R&D on the productivity growth of industries: an exploratory study. **National Planning Association**.

The Conference Board. (2015). **The Conference Board Total Economy Database™**. Maio, 2015. Disponível em: <<http://www.conference-board.org/data/economydatabase>>. Acesso em: 26 Jul. 2016.

ZÜRN, M. *et al.* (2016). R&D investment and knowledge input in a technology oriented CGE model. In: **EcoMod Conference on Energy and Environmental Modelling, Moscow**. 2007. Disponível em: <<http://econpapers.repec.org/paper/ekd000240/24000067.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

APÊNDICE

Estrutura de produção

A função de produção no modelo BIM-GERD segue uma estrutura aninhada, conforme usualmente é utilizada na modelagem de EGC. As equações abaixo resumem da decisão de produção;

$$\frac{Z_i}{A_0} = g(X_i, Q_v) = \min[A_{i1}X_{i1}, \dots, A_{in}X_{in}; Q_v] \quad (1)$$

Sendo que a combinação de insumos intermediários, X_{ij} , importados (Imp_i) e domésticos (Dom_i) e dado por uma função CES;

$$X_{ij} = [aDom^{-\rho} + (1 - a)Imp^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}}, (0 \leq a \leq 1) \quad (2)$$

Em que a é o parâmetro que representa a parcela de insumos e ρ ($-1 < \rho < \infty$) é o parâmetro de substituição. Dessa forma, os bens finais, Z , são produzidos com a combinação dos insumos intermediários (X_{ij}) e do composto de insumos primários (Q_v) por meio da decisão de minimização de custos (*Leontief*). O composto de fatores primários é definido por uma função CES dada por;

$$Q_v = [A_l L^{-\rho_v} + A_k K^{-\rho_v} + A_t T^{-\rho_v} + A_h H^{-\rho_v}]^{-\frac{1}{\rho_v}} \quad (3)$$

Em que Q_v é composto pelos insumos primários Terra (T), Capital (K), Trabalho (L) e Capital Knowledge (H). O parâmetro, A_0 , é um termo de mudança técnica Hicks-neutro. (A_{i1}, \dots, A_{in}) e (A_l, A_k, A_t e A_h) indicam os coeficientes de produto por unidade de insumo e os parâmetros de parcela de fatores, respectivamente. ρ_v ($-1 < \rho_v < \infty$) é o parâmetro de substituição do composto de fatores. A Figura 2 mostra a estrutura aninhada da tecnologia de produção do modelo BIM-GERD.

Mudança tecnológica

Na equação (4), o parâmetro α_{VA_i} representa a fração necessária do valor adicionado para produzir o produto final de cada setor. À medida que esse parâmetro decresce, o valor adicionado necessário para produzir a mesma quantidade de produto é menor (HONG *et al.* 2014).

$$VA_i = \alpha_{VA_i} Z_i \quad (4)$$

Parte do aprendizado dos setores acontece no processo de compra e venda de insumos intermediários, nos quais permitem que os setores tenham acesso à tecnologia desenvolvida por outros. Isto é, na medida em que as empresas transbordam conhecimento, parte do capital *knowledge* desenvolvido é transferido para outros setores nas transações intersetoriais. Esse efeito é capturado pela equação (5):

$$spl(i) = [H_{outros}(i)] \quad (5)$$

$$H_{outros}(i) = \sum_{j \neq i} intindwt(j, i) H(j) \quad (6)$$

O coeficiente spl corresponde à parcela de capital *knowledge* de outros setores (H_{outros}) que está incorporada nos insumos intermediários usados na produção do setor. O transbordamento é ponderado pelo parâmetro $intindwt(j, i)$, que é definido como a relação entre quantidade de insumos intermediários comprados de um setor pelo total de insumos utilizados na produção.