

Impacto Econômico do Financiamento da Ciência: Estudo de Caso um Bem de Capital em Nanotecnologia

Economic impact of science funding: a case study of nanotechnology capital goods

Celso Bissoli Sessa^a

Ado Jório^b

Márcia Diniz^c

Márcia Siqueira Rapini^d

Resumo: Esse artigo apresenta uma análise do impacto gerado na economia brasileira da nacionalização e comercialização de um bem de capital utilizado em pesquisas científicas em nanociência e nanotecnologia. O impacto é calculado utilizando a Matriz de Insumo-Produto Brasileira, considerando três cenários: (i) compra do equipamento importado; (ii) compra do equipamento nacional a partir de componentes importados e nacionais; e (iii) compra do equipamento nacional considerando a situação fictícia da produção nacional de todos os componentes. O impacto econômico da compra de equipamentos nacionais torna o investimento em ciência superavitário, independentemente dos resultados científicos, tecnológicos ou de inovação advindos das pesquisas a serem realizadas.

Palavras-chave: Instrumentação Científica, insumo-Produto, Nanotecnologia, Nanociência.

Classificação JEL: C67, D57, O30

Abstract: This article presents an analysis of the impact on the Brazilian economy generated by the nationalization and commercialization of a capital asset used in scientific research in nanoscience and nanotechnology. The impact is calculated using an input-output matrix, considering three scenarios: (i) the purchase of imported equipment; (ii) the purchase of national equipment from imported and national components; and (iii) the purchase of national equipment considering the national production of all components. The economic impact of the purchase of national equipment makes investment in science positive, regardless of scientific, technological or innovation results from research.

Keywords: Scientific Instrumentation; Input-Product Matrix, Nanotechnology, Nanoscience

^a Professor Adjunto do Departamento de Economia da UFES. E-mail: celso.sessa@ufes.br

^b Professor dos Programas de Pós-Graduação em Física, em Engenharia Elétrica e em Inovação Tecnológica. E-mail: adojorio@fisica.ufmg.br

^c Pesquisadora-Tecnologista do Inmetro; Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual/UFMG. E-mail: marciaddc@ufmg.br

^d Professora Associada do CEDEPLAR\FACE\UFMG. E-mail: msrapini@cedeplar.ufmg.br

1. Introdução

As pesquisas científicas, dado o aumento da complexidade dos estudos em determinadas áreas, requerem cada vez mais investimentos em infraestrutura tecnológica para aumentar a capacidade de se observar e mensurar fenômenos naturais. Especificamente em relação às ciências experimentais, o acesso a equipamentos de alta tecnologia é fundamental para o avanço do conhecimento, embora a pesquisa para o desenvolvimento de tais equipamentos seja pouco considerada pelo meio científico brasileiro.

A instrumentação científica refere-se aos dispositivos e aparatos utilizados para a investigação da natureza de forma quantitativa ou qualitativa (VAN HELDEN, 1983), com transbordamentos para outras disciplinas e para a esfera industrial (ROSENBERG, 1982). A capacidade de desenvolver novos instrumentos científicos dá independência científica a um país, além de contribuir para a geração de novos conhecimentos, tecnologias e para a capacitação de recursos humanos (CHAVES, 2007). A ênfase dada ao papel da instrumentação científica no progresso do conhecimento variou ao longo dos últimos 80 anos (SHINN, 2001). Neste período, os instrumentos científicos foram classificados desde meros aparatos para comprovação de teorias até elementos fundamentais para o nascimento de novas disciplinas.

A qualidade da instrumentação é determinante para o país que quer fazer ciência de fronteira ao permitir a reprodução da ciência em nível global (STINE, 1986). Entretanto, o desenvolvimento local de novos instrumentos científicos tem papel mais estruturante, pois permite que o país não só emule a ciência feita globalmente, mas crie a sua própria agenda científica e tecnológica (CHAVES, 2007). Um novo instrumento científico, como aqui tratado, é aquele capaz de gerar um novo campo de conhecimento ou pesquisa.

Além de dar estrutura a um campo científico, a instrumentação pode ampliar o rol de aplicações interdisciplinares de um efeito mensurável e, quando altamente difundida, pode modificar a estrutura de organização do trabalho nas instituições. De um ponto de vista mais estratégico, a instrumentação pode garantir o monopólio do conhecimento ao grupo que detém o acesso à tecnologia e, com isso, proporcionar vantagens a profissionais e a instituições (SHINN, 2001).

Porém, ao se considerar os custos e os riscos envolvidos nas atividades de pesquisa necessárias para o desenvolvimento de instrumentos científicos, o papel desempenhado pelo Estado passa a ser fundamental para criar as condições adequadas de estímulo à realização das atividades de pesquisa científica (MAZZUCATO, 2011). A literatura acadêmica e as evidências empíricas reforçam a ideia de que elevados níveis de investimento em ciência e tecnologia são essenciais para garantir o crescimento econômico no longo prazo.

Sob a perspectiva socioeconômica, o domínio do conhecimento de tecnologias de instrumentação é condição básica para a competitividade científica e industrial do país. As necessidades de investimento e de indução da pesquisa em ciência no Brasil, apesar dos avanços, ainda contrastam com os modelos de industrialização historicamente adotados

pelo país, que basicamente foram estruturados na importação maciça de tecnologia e que, em geral, inibiram o desenvolvimento de soluções tecnológicas nacionais.

A disponibilidade de instrumentação científica para o estudo e manipulação da matéria na escala nanométrica está na base da nanotecnologia, fundamental para realizar ciência experimental atualmente. A nanotecnologia diz respeito ao entendimento e controle da matéria e dos processos na nanoescala – tipicamente abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões – a criação de melhores materiais, dispositivos e sistemas que exploram as novas propriedades que surgem nessa escala. Ademais, o desenvolvimento de novos instrumentos científicos que avançam ordens de grandeza na observação da natureza é crítico para o progresso da ciência e da tecnologia.

Neste trabalho, além de se apontar a relevância do tema, procura-se demonstrar, por meio de um estudo de caso, que a estratégia de investimento governamental em estruturas para gerar instrumentação de alta tecnologia pode gerar efeitos positivos sobre a economia brasileira, em oposição aos efeitos diretos da importação de tecnologia. A mensuração do impacto econômico do investimento em instrumentação é realizada a partir da Matriz de Insumo-Produto do Brasil, que reflete as relações de interdependência entre os setores. Uma das principais contribuições deste trabalho reside na identificação das distribuições, intensidades e transmissões dos efeitos projetados no sistema produtivo.

Para melhor entendimento, o artigo será dividido em quatro seções, além desta introdução e das considerações finais. A seção 1 apresenta uma breve revisão teórica sobre instrumentação científica e na seção 2 é apresentado um panorama da nanotecnologia no Brasil, sendo apresentado o projeto do LabNS (Laboratório de Nanoespectroscopia), estudo de caso deste trabalho. Na seção 3 é apresentado o modelo de insumo-produto, base metodológica para o estudo de impacto econômico. E, finalmente, a seção 4 será composta pelo estudo de impacto econômico realizado através da matriz de insumo-produto. Esta seção conterá, ainda, uma breve descrição dos resultados obtidos, seguida pela última seção: as considerações finais.

2. Instrumentação Científica e Desenvolvimento da Ciência, Tecnologia e Inovação

Até a Segunda Guerra, o termo “instrumentação” referia-se principalmente aos instrumentos científicos, ou seja, aqueles usados em experimentação para o propósito de demonstrar e tornar visíveis as reivindicações da teoria (SHINN, 2001). A partir daí, o termo se expandiu para abarcar também os aparatos usados na indústria, no governo, na saúde, nas forças armadas e outras áreas. De qualquer forma, sejam instrumentos científicos, sejam instrumentos para os demais propósitos, a instrumentação é hoje reconhecida como central para pesquisa, engenharia, produção industrial e processos de inovação. É um “mecanismo que condiciona o conteúdo do conhecimento, afeta a

organização do trabalho e até mesmo interações sociais mais amplas” (SHINN, 2001, tradução nossa¹).

Novas abordagens no estudo da instrumentação científica se iniciaram nos anos 1970 e 1980, com investigações históricas e sociológicas da chamada “*big science*” do período pós Segunda Guerra. Da perspectiva sociológica, os instrumentos científicos começaram a ser considerados não apenas em seus aspectos científicos e tecnológicos, mas também de engenharia, financiamento e design, refletindo ambientes institucionais e econômicos relacionados ao seu desenvolvimento.

A ideia de que os instrumentos científicos não apenas servem à ciência, mas dão estrutura a uma comunidade científica, foi primeiramente demonstrada com o surgimento da radioastronomia, uma disciplina científica que emergiu nos anos 1950 e 1960 com o desenho, a construção e a difusão do radiotelescópio (EDGE & MULKEY, 1976, apud SHINN, 2001). Este fato contribuiu para o nascimento de uma nova especialidade, com seus próprios departamentos universitários, periódicos e congressos nacionais e internacionais. Além de transformar o conhecimento, o novo instrumento científico afetou a própria instituição da ciência (SHINN, 2001).

A disponibilidade de instrumentos científicos pode significar o sucesso na carreira de pesquisador e, ainda, determinar o que é verdadeiro em ciência. Este aspecto é particularmente sensível em algumas áreas da ciência em que possuir um monopólio de um instrumento significa exercer controle sobre a produção dos melhores dados experimentais. Ou seja, possuir um instrumento científico pode conferir vantagem profissional e institucional e, ainda mais importante, determinar o que é verdadeiro e falso, válido e inválido em ciência (SHINN, 2001).

Segundo Galison (1997 apud SHINN 2001), a ciência não é, como até o início do século XX se considerava, resultado das interações entre teoria e experimentação, mas sim de uma triangulação entre teoria, experimentação e instrumentação. Para alguns autores, a instrumentação ocupa a posição central. Na visão da Hacking (1983, 1989 apud SHINN, 2001) as entidades físicas existem à medida que os instrumentos geram efeitos mensuráveis indiscutíveis.

A instrumentação também influencia e estrutura a organização do trabalho, uma vez que pode tornar obsoletas algumas atividades e estimular outras novas funções. A introdução das primeiras calculadoras eletrônicas e dos computadores, ao final da Segunda Guerra, transformou as ocupações e a organização do trabalho e provocou o fim das calculadoras humanas, mulheres na maioria, que contribuíram com os programas militares de alta tecnologia (SHINN, 2001). Mais recentemente, a robótica tem substituído e modificado funções de trabalho de forma massiva.

A conexão entre pesquisa fundamental em universidades, inovação instrumental e desempenho econômico foi abordada por Rosenberg (1982). Na análise principalmente do contexto americano, este autor sugere que o surgimento e difusão de novas tecnologias de

¹ “... a mechanism that conditions the content of knowledge and affects the organization of work and even broader social interactions”.

instrumentação são consequências centrais da pesquisa fundamental gerada em universidades. O eventual impacto econômico da pesquisa básica gerada por uma disciplina se expressa por meio de novas tecnologias de instrumentação bem como de suas trajetórias. A instrumentação científica é, então, um subproduto negligenciado da pesquisa acadêmica, e gera técnicas mais poderosas e versáteis de observação e medição de fenômenos não antes observáveis ou mensuráveis.

Como consequência, instrumentos científicos inicialmente projetados para responder a uma questão específica de uma disciplina, após desenvolvidos com sucesso, podem ser aplicados muitas vezes em outras esferas científicas, por meio de modificações e engenharia. Em alguns casos, a instrumentação científica se desenvolve e se ramifica para áreas de aplicação muito diferentes daquelas para as quais originalmente foi criada, podendo fazer a ligação entre a pesquisa acadêmica e a pesquisa industrial. Rosenberg (1982) destaca três tipos principais de difusão na trajetória de instrumentos científicos: entre disciplinas acadêmicas; da academia para a esfera industrial; e da indústria para a comunidade de pesquisa em geral.

A forma de difusão dos instrumentos científicos entre disciplinas teve papel importante para o progresso da ciência. Como exemplo, o transistor foi fundamental para a expansão da física do estado sólido, mas foi também altamente dependente de avanços posteriores na química e na metalurgia, que tornaram disponíveis materiais suficientemente puros e cristalinos. Por outro lado, este fluxo também provoca a colaboração interdisciplinar. Segundo Rosenberg (1982), o fluxo parece ser grande da física para a química, e das duas para a biologia, a clínica médica e saúde. O microscópio eletrônico, desenvolvido por físicos, foi rapidamente adotado pelas ciências biológicas. Parece haver um fluxo significativo da física para a química e da física aplicada e engenharia elétrica para a saúde. O exemplo principal é a ressonância magnética nuclear (RMN) desenvolvida por físicos para mensurar momentos magnéticos de núcleos atômicos, que posteriormente se tornou uma técnica fundamental na química analítica, e foi transferida também para as ciências biológicas e para a medicina. Hoje, a ressonância magnética é uma técnica de diagnóstico por imageamento altamente difundida e poderosa.

A difusão da instrumentação pode também acontecer para a esfera industrial. Por exemplo, a implantação de íons originada na física de partículas e que gerou as técnicas de carregamento, aceleração e direcionamento de feixes de íons é hoje a técnica mais difundida de deposição em tecnologia de circuitos integrados. Outro exemplo é o microscópio eletrônico de varredura, que migrou de suas origens acadêmicas para o universo da manufatura. Além de ser ferramenta indispensável na fabricação microeletrônica, para caracterização de elementos de chips de memória, suas aplicações na indústria metalúrgica vão da determinação de tamanhos de grãos até a caracterização e distribuição de elementos químicos em minérios e resíduos do processo de mineração. Indústrias que também se beneficiam da microscopia eletrônica são das áreas de mineração, siderúrgicas e transformação de bens de consumo. Outras técnicas de instrumentação científica difundidas para a indústria são: alto vácuo, criogenia, magnetos supercondutores,

sensores robóticos, todos aplicados ao uso industrial em larga escala (ROSENBERG, 1982).

Quanto à terceira forma de difusão da instrumentação, Rosenberg (1982) aponta que muitas tecnologias de instrumentação geradas na universidade são posteriormente exploradas por empresas que, ao melhorar os processos de padronização, aumentam a performance e a versatilidade a um custo menor. Com isto, a instrumentação é difundida tanto para a indústria quanto para a comunidade de pesquisa como um todo, favorecendo também o aumento ao acesso à tecnologia e possibilitando o seu uso por pessoas menos especializadas. Como benefício deste terceiro tipo de difusão, há o fluxo reverso de que esses novos e melhorados instrumentos comerciais capacitam outros pesquisadores e cientistas a conduzirem pesquisa. O espectrômetro Raman pode ser citado como um exemplo. Os desenvolvimentos comerciais neste equipamento possibilitaram tanto o seu melhor desempenho quanto a versatilidade de características (equipamentos portáteis) e aplicações (equipamentos específicos para análise de fármacos), difundindo a técnica e permitindo seu uso por pesquisadores não especialistas, de várias áreas científicas e industriais².

Dessa forma, a geração de novos instrumentos científicos requer aperfeiçoamentos posteriores, o que inclui mais pesquisa fundamental, podendo levar à criação de novas linhas de pesquisa. O primeiro laser de rubi, criado em 1960, era tido mais como uma curiosidade científica do que uma inovação tecnológica. Os advogados de propriedade intelectual nos Laboratórios Bell relutaram inicialmente em depositar a patente, por considerarem que não havia aplicação aparente na indústria de comunicações. Entretanto, o surgimento do laser sugeriu a possibilidade da utilização de fibras ópticas para transmissão, o que resultou em um adensamento da pesquisa no campo da óptica, uma subdisciplina não muito forte até aquele tempo. Este fato provocou o desenvolvimento das tecnologias baseadas em laser, que deram origem a novas categorias de pesquisa fundamental, desde o estudo de isolantes e propriedades ópticas dos sólidos, até a espectroscopia atômica e a física de descarga de gás (ROSENBERG, 1982).

Há também um fluxo da tecnologia para a ciência, em uma relação de interconexão. Muitas vezes, o conhecimento tecnológico atingido pela prática leva a uma busca por um nível mais profundo de conhecimento científico. Um dos modos fundamentais pelos quais a tecnologia molda a ciência é pelo desenvolvimento das técnicas de observação, testes e medidas. Os aperfeiçoamentos da instrumentação científica, por meio de novas soluções em possibilidades de observação e medida, têm sido um importante determinante do progresso científico (ROSENBERG, 2006).

Do ponto de vista das políticas governamentais, cabe aqui destacar alguns pontos levantados por Irvine (1991) ao analisar o processo de inovação na indústria de instrumentação científica e como promovê-lo, à luz das experiências do Reino Unido e dos EUA, com recomendações para a Austrália. Segundo este autor, uma vez que instrumentos

² Ver <https://www.bruker.com/pt/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/raman.html>. Data de acesso: 02 de janeiro de 2019.

científicos de alta tecnologia servem ao mercado global e que o crescimento de grandes mercados internacionais tem sido mais rápido em setores de alta tecnologia, investimentos nas empresas nacionais de instrumentação científica podem representar aumento na pauta de exportações do país. Portanto, competência básica forte em tecnologias de instrumentação científica é um ativo chave para, futuramente, se captar os benefícios econômicos potenciais da inovação, inclusive em outros setores produtivos. Como visto, as inovações em instrumentação científica estão predominantemente nas universidades. Consequentemente, o governo tem um escopo maior de envolvimento neste setor para incentivar a transferência das tecnologias da academia para as empresas de forma a encorajar a exploração comercial de tais tecnologias (IRVINE, 1991). O sucesso da indústria de instrumentos científicos parece estar relacionado às fortes ligações entre empresas e laboratórios de pesquisa específicos (SHINN, 2001). Além disso, a proximidade geográfica das empresas às universidades parece ser um fator importante nas inovações em instrumentos científicos (MACPHERSON, 1998).

3. A Instrumentação Científica em Nanociência

3.1. Panorama Geral

Historicamente, o interesse por instrumentação no Brasil foi consequência, em parte, das restrições impostas à importação de instrumentos pela Resolução nº 354/1975 do Banco Central (STAL E CERANTOLA, 1989). Em 1976, o então Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) contratou um estudo de viabilidade para a produção de instrumentação nacional. Concluído em 1979 o estudo identificou vários gargalos: o mercado de instrumentação se caracterizava por intensiva atividade de importação; as empresas estrangeiras basicamente montavam instrumentos no país; havia facilidade para importação de equipamentos e dificuldade de importação de componentes; as universidades raramente se dedicavam ao desenvolvimento de instrumentos; inexistia uma política de instrumentação no país. Em 1977, o CNPq criou uma Coordenação para o Programa de Instrumentação, na tentativa de reverter a situação e com o propósito de fortalecer o desenvolvimento dessa área. Entretanto, o programa foi interrompido em 1984.

No início dos anos 1980 outras medidas foram tomadas, principalmente para a reserva de mercado, como fixação de índices de nacionalização, controle de importação de instrumentos, financiamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento de protótipos, dentre outras.

Neste mesmo esforço, a política de reserva de mercado do segmento de minicomputadores foi criada em 1977, sendo posteriormente estendida ao conjunto de subsetores que incorporavam os componentes básicos da indústria de informática (microprocessadores e software). A instrumentação foi incluída em 1983. À época, o setor foi dividido pela Secretaria Especial de Informática (SEI) em três segmentos: laboratório, biomédico e testes e medição (FURTADO, 1993). Dentre os instrumentos que começaram a ser produzidos no Brasil estavam: espectrofotômetros de absorção atômica e os

autorreguláveis, cromatógrafos a gás ou a líquido, balanças eletrônicas, bioanalísadores e outros que incorporavam microprocessadores. Os segmentos de instrumentação de laboratório e biomédico foram afetados por esta política, entretanto, não lograram sucesso devido ao fato de as empresas brasileiras de instrumentos complexos não terem sido capazes de se atualizar tecnologicamente para produzir nacionalmente e, também, pela concorrência internacional. No final dos anos 1980 as empresas nacionais abandonaram o esforço tecnológico percebendo o rápido deslocamento da fronteira tecnológica internacional e, então, a política do governo também abandonou progressivamente o esforço de implantar uma indústria nacional de instrumentação laboratorial e médica liberando importações de instrumentos científicos para instituições de pesquisa (FURTADO, 1993).

No início dos anos 1980 houve outra iniciativa para o setor com a elaboração do SINST, um subprograma de instrumentação dentro do PACDT que procurava contemplar a produção nacional de instrumentos, bem como o estabelecimento de competências que permitissem o domínio científico e tecnológico do setor. O SINST deixou legados importantes como o embrião de um Sistema de Informação em Instrumentação e subsídios para a formulação de políticas para o desenvolvimento do setor (STAL e CERANTOLA, 1989).

Posteriormente, podem ser citadas as criações do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) em 1987 e, mais recentemente, do Sirius, iniciado em 2009, que contribuíram para a capacitação técnica de empresas e fornecedores nacionais. Entretanto, atualmente, as iniciativas para o fomento ao desenvolvimento de instrumentação científica pelo governo brasileiro são pontuais, a exemplo da Rede *Scanning Probe Microscopy* Brasil (Rede SPM Brasil), financiada pelo MCTI entre 2006 e 2011, com a participação de 11 grupos de pesquisa de 9 instituições. A infraestrutura da chamada “*big science*” e os projetos pontuais para o desenvolvimento de novos instrumentos específicos são fundamentais para a realização de pesquisa de ponta em nanociência, uma vez que esta é uma área de fronteira para realização de ciência experimental.

A nanociência tem apresentado grande potencial para revolucionar a tecnologia de forma ampla, da medicina à engenharia (ALVES, 2005; FERREIRA e ALBUQUERQUE, 2005). Os bens de capital e de consumo para o avanço da nanociência ainda estão em fase de desenvolvimento no mundo e têm valores muito elevados devido ao alto grau tecnológico agregado, ficando obsoletos com alguns anos de uso devido à velocidade do desenvolvimento da nanotecnologia. Em muitos casos, são segredos de estado, não chegando ao Brasil, ou chegando em suas versões menos avançadas. O Brasil possui significativa formação de recursos humanos nessa área, formação fundamentada no trabalho realizado com equipamentos e materiais de consumo majoritariamente importados. De acordo com uma pesquisa realizada pela Sociedade Brasileira de Física (Tabela 1), a instrumentação científica foi apontada como um dos principais gargalos a serem superados para que a Física brasileira se torne mais competitiva.

Tabela 1: Gargalos de infraestrutura de acordo com cada comunidade de Física

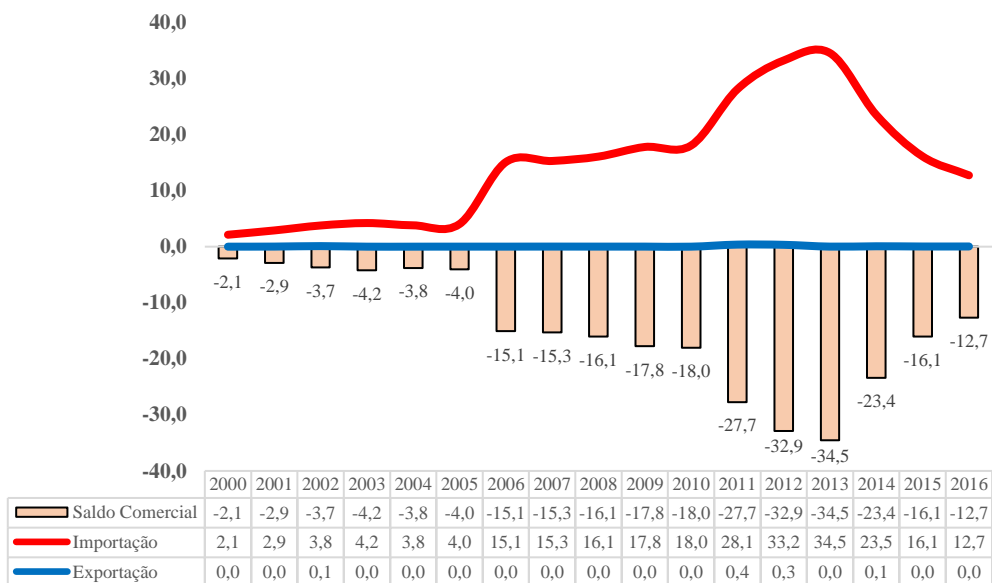
Comunidades de Física	Respostas	Gargalos						
		Laboratórios Nacionais Multiusuários	Instrumentação Científica	Registro de Patentes	Computação de Larga Escala	Programa Espacial	Programa Nuclear	Outros
Universidade	3.260	833	814	532	477	257	189	158
Colégio/Escola	864	212	199	121	144	78	84	26
Empresa	214	55	45	45	28	17	14	10
Inst. de Pesquisa	703	163	163	102	80	81	77	37
Outros	2.623	629	617	424	402	233	224	94
TOTAL	7.664 100%	1.892 24,68%	1.838 23,98%	1.224 15,97%	1.131 14,75%	666 8,68%	588 7,67%	325 4,24%

Fonte: SBF (2012).

No Brasil, a infraestrutura que tem sido montada para o desenvolvimento da nanociência está fundamentada na importação destes bens de capital. Centros de microscopia eletrônica têm sido estruturados em Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) abrangendo um parque de equipamentos bastante custosos. Ao se adicionar a isto os custos de manutenção, esta soma ainda cresce, influenciada por fatores como o tempo ocioso do equipamento e a dificuldade de acesso à assistência técnica estrangeira.

De acordo com o Gráfico 1, entre os anos de 2000 e 2016, o setor de microscopia eletrônica foi constantemente deficitário, com as importações superando as exportações. Mesmo com a redução das importações a partir de 2013, o déficit da balança comercial referente a estes produtos indica a dependência tecnológica do país em relação aos produtos estrangeiros, de forma que o fornecimento de tais produtos para atender a demanda de produção em nanotecnologia depende basicamente do aumento das importações.

Gráfico 1: Importação e Exportação de Produtos de Microscopia Eletrônica³ de 2000 a 2016 (milhões US\$)



Fonte: SECEX/MDIC. Elaboração própria.

Ao analisar a importação de equipamentos e de material permanente das agências de fomento nacionais (FINEP e CNPq) e as importações da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP) da UFMG no período de 2007 e 2016, Costa e Jorio (2018) encontraram que, além do déficit na balança comercial de instrumentos científicos, (a) os instrumentos científicos relacionados a microscopia e espectroscopia óptica representam em torno de 25% do total importado por agências de fomento; (b) instrumentos mais complexos, tais como espectrômetros de massa e mesmo microscópios eletrônicos, tendem a ser destinados em maior volume aos institutos de pesquisa; (c) instrumentos mais simples e mais difundidos são destinados também a outros setores (industrial, por exemplo), como é o caso dos espectrômetros, lasers e espectrômetros e espectrógrafos de raios X.

Portanto, apesar de alguns avanços no desenvolvimento científico, o Brasil ainda se apresenta em condição desfavorável quando em competição com países mais desenvolvidos, ampliando o espaço para o questionamento dos atuais investimentos em nanociência no Brasil. Piketty (2014) defende que o compromisso do progresso científico está atrelado à geração de bens intangíveis, razão pela qual estes investimentos são

³ Os dados se referem aos códigos 9012.10.10 (Microscópios eletrônicos) e 9012.90.10 (Partes e acessórios de microscópios eletrônicos), seguindo a Nomenclatura Comum do Mercosul.

historicamente frágeis, sofrendo cortes desestruturantes sempre que a economia nacional passa por processos de contração⁴.

Um dos principais avanços na nanociência está atrelado ao desenvolvimento da Espectroscopia Raman (RAMAN, 1928; RODRIGUES & GALZERANI, 2012), que é um método poderoso de análise para a caracterização química de compostos, vastamente utilizado em campos como a física, a química, a ciência dos materiais e, mais recentemente, nos campos da biologia e da medicina (SCHRADER, 2008). Suas aplicações atuais vão desde a ciência básica, na determinação de propriedades da matéria condensada (CARDONA, 1983), até aplicações em estudos antropológicos de características do solo (JORIO *et al.*, 2012; RIBEIRO-SOARES *et al.*, 2013), protocolos de referência para análise da composição de biodiesel (MIRANDA *et al.*, 2014) e métodos diagnósticos diferenciais para doenças (RYZHIKOVA *et al.*, 2015).

Os avanços da nanociência nos últimos anos provocam uma demanda por desenvolvimentos técnicos e de instrumentação na nanoescala (ZHANG *et al.*, 2012). No caso da espectroscopia Raman, há dois principais limitantes para sua aplicação em escala nanométrica: o limite de difração, que restringe a resolução óptica mínima a aproximadamente metade do comprimento de onda da luz incidente, que é da ordem de centenas de nanômetros; e a baixa probabilidade de ocorrência do efeito Raman em relação aos outros efeitos da interação luz-matéria. Apesar de específico – e por isso uma poderosa técnica de caracterização – o efeito Raman é pouco provável e de baixa eficiência.

Em STÖCKLE *et al.* (2000) foi relatado o primeiro experimento demonstrando o efeito TERS (sigla em inglês para *Tip-Enhanced Raman Spectroscopy*, ou espectroscopia Raman auxiliada por sonda), embora o desenvolvimento dos conceitos relacionados à técnica seja bem anterior (NOVOTNY, 2007; YEO *et al.*, 2009). Fundamentada nos efeitos de campo próximo, a técnica TERS consiste na combinação da incidência na amostra de uma fonte de luz monocromática, usualmente utilizada em medidas do efeito Raman e aproximação de uma sonda metálica com ápice de dimensões nanométricas, similar às sondas utilizadas em técnicas já conhecidas de microscopia de varredura por sonda (ou *Scanning Probe Microscopy* - SPM na sigla em inglês). Os principais efeitos da aproximação da sonda são o aumento do sinal Raman devido à ressonância plasmônica na sonda e o aumento da resolução espacial por efeitos de campo próximo, que é nesse caso limitada pela dimensão do ápice da ponta metálica. A nova técnica passou a permitir realizar experimentos de detecção do efeito Raman em nanoestruturas (HARTSCHUH *et*

⁴ Um exemplo específico, mas não limitante, é a pesquisa sobre grafeno, uma folha de átomos de carbono com propriedades eletrônicas, mecânicas e térmicas únicas, importante objeto da ciência de nanoestruturas, que promete modificações drásticas nas áreas tecnológicas, da engenharia à medicina (GEIM e NOVOSELOV, 2007; NOVOSELOV, 2012). A Comunidade Europeia lançou, em 2010, com aporte da ordem de um bilhão de euros, um projeto intitulado “*Graphene Flagship*”, focado no desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao grafeno. No Brasil, o estado de Minas Gerais, através da Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemig), investiu em 2016 cerca de 21,3 milhões de reais no projeto MGgrafeno, uma planta piloto para a produção de grafeno a base de grafite mineral. O estado de São Paulo criou, em 2010, o centro MackGraphe, com um investimento de R\$ 26 milhões para o desenvolvimento de tecnologia a base de grafeno.

al., 2003) com eficiência para medir a resposta espectral relacionada a um único átomo (MACIEL *et al.*, 2008).

TERS, portanto, é uma combinação de duas técnicas anteriormente conhecidas, que permite caracterizar amostras por meio da obtenção de informação química e estrutural. Ao longo dos últimos 15 anos, houve a difusão principalmente acadêmica da técnica, e uma série de conferências internacionais no tema se iniciou no ano de 2009 no Reino Unido. Além disso, o domínio do conhecimento teórico (CANÇADO *et al.*, 2009; BEAMS *et al.*, 2014; JORIO *et al.*, 2017) tem possibilitado aperfeiçoamentos instrumentais, principalmente nas técnicas de fabricação de sondas, o elemento chave da tecnologia.

Da perspectiva de mercado, empresas como NT-MDT, Horiba, Renishaw e RHK já introduziram soluções comerciais, ainda pouco difundidas no mercado mundial, em parte devido à baixa reprodutibilidade e confiabilidade das medições, ocasionada muitas vezes pela precariedade dos processos de reprodutibilidade na produção de sondas de qualidade.

Conforme apontou Von Hippel (1998) as fontes de inovação de produto estão em diferentes ambientes e podem ser desempenhadas por diferentes atores, sejam eles profissionais da indústria de transformação, fornecedores de componentes ou mesmo usuários finais. E isto varia conforme o tipo de inovação. Para inovações em instrumentação científica, os maiores inovadores são os usuários, e não os fabricantes. Inovadores, sob esta perspectiva, são definidos como indivíduos ou firmas que primeiramente desenvolvem uma inovação até um estado útil, segundo uma prova documentada, qual seja, a publicação de resultados em revistas científicas, a partir do equipamento melhorado. Conforme destacado por Rosenberg (1982), as novas técnicas de instrumentação, muitas vezes surgidas não intencionalmente, e a difusão de suas aplicações em áreas diversas daquela em que foram originadas, são produtos da academia com forte impacto econômico. Tal impacto é muitas vezes subestimado e raramente mensurado.

3.2. O Laboratório de Nanoespectroscopia

O Laboratório de Nanoespectroscopia (LabNS) da UFMG foi criado em 2006 no Departamento de Física, focado no desenvolvimento das técnicas de espectroscopia Raman e microscopia por varredura de sonda. Contando com financiamento do CNPq, um dos coordenadores do LabNS foi coordenador científico da Rede de Microscopia de Varredura por Sonda – Rede SPM Brasil, no período de 2006 a 2011, com o objetivo de incentivar desenvolvimentos em instrumentação em SPM. Como produto deste projeto, um equipamento para realizar TERS foi construído no LabNS/UFMG. Com este resultado, uma nova rede foi financiada pelo CNPq e também coordenada pelo coordenador do LabNS, a Rede Brasileira de Pesquisa e Instrumentação em Nanoespectroscopia Óptica, com duração de 2012 a 2016. Por meio deste projeto, que teve financiamento renovado, o LabNS conduziu a replicação do protótipo laboratorial do equipamento para TERS em duas outras instituições de pesquisa do Brasil: o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e a Universidade Federal do Ceará (UFC), instituições pertencentes à rede e com recursos humanos capacitados para conduzir e dar continuidade às pesquisas

em TERS. Em 2018 iniciaram-se mais dois projetos em direção a um empreendimento voltado para a comercialização de TERS: o desenvolvimento de protótipo para TERS replicável em ambiente relevante, com financiamento Codemge em parceria com a Embrapii; e a produção escalável de sondas eficientes para TERS com financiamento Sibratec/Sisnano. As informações sobre o financiamento das atividades estão na tabela 2.

Tabela 2: Financiamento das Atividades do LabNS – 2002 a 2019 (R\$ de 2016)

Ano	Recursos	Fonte	Descrição
2002	79.959,59	PRPq/UFMG	Equipamentos/consumo
2003	29.106,13	Fapemig	Equipamentos/consumo
2004	34.272,31	CNPq	Equipamentos/consumo
2005	18.133,51	Fapemig	Equipamentos/consumo
2006	84.759,76	CNPq	Equipamentos/consumo
	47.088,75	Capes/DAAD	Custeio
	220.499,68	Instituto do Milênio	Compra do 1º RHK
	329.271,05	Rede SPM Brasil	Equipamentos/consumo
2008	430.405,20	Rede Nanotubos	Equipamentos/consumo
2009	247.625,49	AFOSR/USA	Equipamentos/consumo
	201.402,06	INCT Nanocarbono	Compra do 2º RHK
	330.167,31	CNPq/MCT	Equipamentos/consumo
2010	228.847,63	Pronex/Fapemig	Equipamentos/consumo
	9.495,75	CNPq/MCT	Bolsa de produtividade
2011	2.014.114,61	CNPq/MCT	Equipamentos e bolsa de produtividade
2012	2.806,22	i-Vision	Doação de câmera para o TERS
	8.418,66	CNPq/MCT	Bolsa de produtividade
2013	2.872.768,56	Finep	Equipamentos/consumo
	7.954,14	CNPq/MCT	Bolsa de produtividade
2014	764.796,64	CNPq/MCT	Equipamentos e bolsa de produtividade
	130.178,15	CNPq e Capes	Organização de evento (TERS 4)
2015	7.057,87	CNPq/MCT	Bolsa de produtividade
	1.176,31	Governo Suíço	Divulgação Tecnológica
	5.801,57	IBM Research Brasil	Recursos humanos
2016	212.580,00	USArmy Research Lab	Equipamentos/consumo
	6.377,40	CNPq/MCT	Bolsa de produtividade
	8.184,33	Governo Suíço	Divulgação Tecnológica
	6.510,26	IBM Research Brasil	Recursos humanos
2017	5.823,00	CNPq/MCT	Bolsa de produtividade
2018	11.124.183,26	Codemge, Embrapii	Recursos humanos e equipamentos
	130.482,95	Sibratec/Sisnano	Consumo, recursos humanos
2019	150.397,76	CNPq/MCT	Bolsa de produtividade
	134.283,71	Capes/Probral	Custeio, bolsas
TOTAL	19.884.929,62		

Fonte: LabNS. Elaboração própria.

Nota: Valores atualizados pelo INPC.

A especialização adquirida pela equipe de pesquisadores do LabNS deve-se, em grande proporção, a avanços conquistados na automatização de processos, na concepção e produção de sondas de alta qualidade, por meio de diferentes métodos de fabricação, bem como à compreensão teórica do efeito TERS. Este fato, aliado à extensa colaboração internacional com grupos de especialistas, construiu autoridade científica e reputação do grupo, refletidas nas publicações científicas e pedidos de patente por seus pesquisadores (ALENCAR, *et al.*, 2019; JORIO *et al.*, 2019; PI 1105968-0; PI 1105972-9; PI 1107185-0; BR 1020120269732; BR 1020120333040; BR1020150103522 e; BR1020160291267; e BR1020170079171). Em termos de recursos humanos, o projeto envolveu, até 2018, 11 alunos de iniciação científica, 4 de mestrado, 7 de doutorado, 5 de pós-doutorado e 1 sênior (externo), resultando em 10 pedidos de patentes nacionais, 5 internacionais (duas na Europa, EP3293526A1, EP3392663A1; duas na China, CN107850621A, CN109073675A, uma nos Estados Unidos, US20190383854A1), e duas patentes concedidas pelo USPTO (US 10274514, US 10605827). Com os dois novos projetos iniciados em 2018 (Embrapii e Sibratec), foram acrescentadas dezenas de pessoas à equipe, variando de acordo com a fase do projeto, em média 30 pessoas entre graduados, mestres e doutores.

A partir desses investimentos, o atual estágio de maturidade do grupo contempla o objetivo do eventual empreendimento, que seria a comercialização de equipamento completo, contendo todos os componentes necessários à realização de uma medida TERS. E o segmento de clientes foco da comercialização seria o acadêmico (pesquisadores de ICTs), visto que este mercado é bem conhecido pelo grupo de pesquisa. O modelo inicial do empreendimento seria desenhado com o objetivo secundário de profissionalizar a produção do equipamento, sendo isto possível a partir do momento em que o protótipo laboratorial evoluísse para um produto comercial, e transpusesse as fronteiras da universidade, por exemplo, por meio da criação de uma *spinoff*. A FabNS Fábrica de Nanosoluções e Participações LTDA foi criada em março de 2020.

4. A Matriz de Insumo-Produto

A partir da base teórica de insumo-produto inúmeras aplicações foram desenvolvidas para os mais diversos temas, com análises estruturais e de impacto em áreas ligadas ao desenvolvimento regional, meio ambiente e recursos naturais, distribuição de renda, entre outros. A ampliação das potencialidades de aplicação dessa metodologia tem sido beneficiada pelos avanços tecnológicos na área computacional e pela integração de matrizes de insumo-produto às contas nacionais.

São poucos os trabalhos que utilizam a metodologia da matriz insumo-produto para analisar temas relacionados à Ciência, Tecnologia e Inovação. Para o caso brasileiro identificou-se o trabalho de Pinto, Domingues e Rapini (2019) que utilizou esta metodologia para analisar o impacto da Lei do Bem através dos incentivos fiscais. Este trabalho é, portanto, uma contribuição nesta área analisando o impacto da criação de uma empresa *spinoff* da área de nanotecnologia.

Elaborada a partir do Sistema de Contas Nacionais, a matriz de insumo-produto (MIP) demonstra as relações de interdependência setoriais e permite avaliar os impactos de variações na demanda final dos produtos. O modelo faz uso dos diversos fluxos entre as atividades econômicas, tendo como base a formação bruta de capital fixo (I), exportações (X), variação de estoques (VE), consumo do governo (G) e consumo pessoal (CF), sua conta de renda e as importações (M) (KURESKI, NUÑEZ e RODRIGUES, 2007).

Para o modelo são adotadas duas hipóteses, resumidas por Guilhoto (2011): a) homogeneidade, não se considera diferenciação de produtos, havendo razão fixa de insumos (tecnologias fixas no processo produtivo), com rendimento constante de escala (apenas uma tecnologia é empregada na produção); e b) proporcionalidade, os insumos consumidos em cada atividade são função somente do nível de produção da respectiva atividade.

O modelo é dividido em setores ($1, 2, \dots, n$), obtendo para cada um deles a demanda intermediária ($\sum x_{ij}$), a demanda final (Y_n) e o valor bruto da produção (X_n). A diferença entre o valor bruto da produção e o consumo intermediário resulta no valor adicionado, que é a remuneração dos fatores de produção como salários, aluguéis, lucros e juros (Figura 1).

Figura 1: Fluxo de Bens por Setores de Origem e Destino

ATIVIDADES	DEMANDA INTERMEDIÁRIA				Total da Demanda Final	Valor Bruto da Produção
	Setor 1	Setor 2	...	Setor n		
Setor 1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}	Y_1	X_1
Setor 2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}	Y_2	X_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Setor n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nn}	Y_n	X_n
Valor Adicionado	Z_1	Z_2	...	Z_n		
Valor Bruto da Produção	X_1	X_2	...	X_n		

Fonte: Kureski, Nuñez e Rodrigues (2007)

Os coeficientes técnicos⁵ são as necessidades diretas de insumos dos diversos setores, ou pelas relações intra e interindustriais diretas, e são calculados pela seguinte fórmula:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j} \quad (1)$$

onde: a_{ij} = coeficiente técnico; x_{ij} = consumo intermediário;
 X_j = valor da produção.

⁵ Esses coeficientes refletem a estrutura da economia e não apresentam mudanças significativas a curto e médio prazos, o que os torna importantes indicadores para previsões (LOPES e VASCONCELLOS, 2009).

Dessa forma, com o aumento da demanda final, ocorrem impactos diretos e indiretos de um aumento unitário da produção da atividade j sobre a produção i . Para a determinação dos efeitos diretos e indiretos resultantes do aumento de uma unidade monetária na demanda final (Y), tem-se o modelo básico de Leontief (1964), em forma matricial:

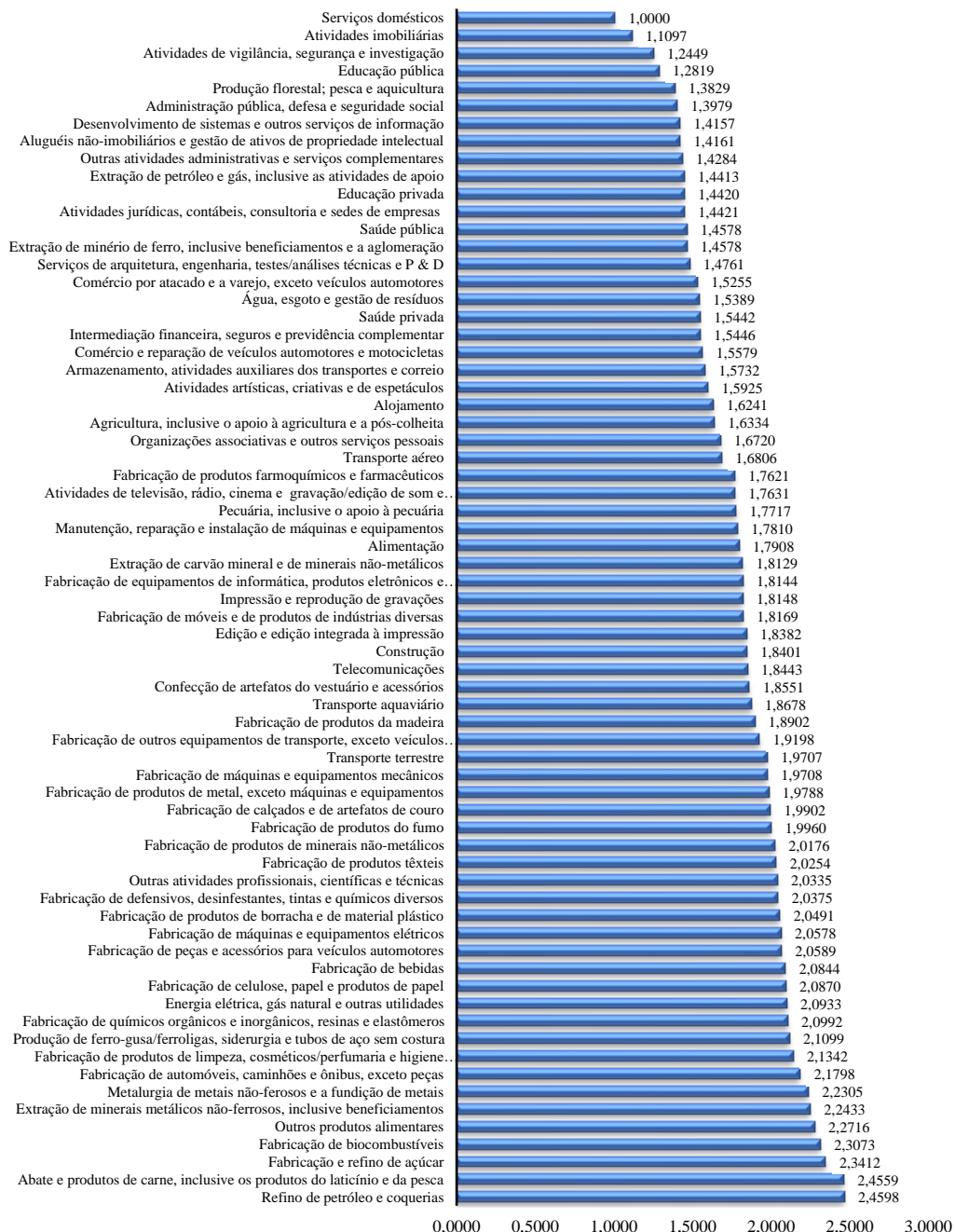
$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (2)$$

onde: X = valor bruto da produção; $(I - A)^{-1}$ = matriz de Leontief;
 Y = demanda final.

Para avaliar os reais impactos sobre a economia determinados pela matriz insumo-produto é necessário identificar e quantificar os efeitos multiplicadores de impacto setorial de cada atividade econômica. Os dois multiplicadores principais são: (1) multiplicador direto: mede o impacto de um aumento unitário da demanda final de uma determinada atividade sobre uma variável de renda, considerando apenas as atividades que fornecem insumos diretamente a esta atividade; (2) multiplicador total (direto mais indireto): mede o impacto de um aumento unitário da demanda final de uma determinada atividade sobre uma variável de renda, considerando todas as atividades que fornecem insumos, direta e indiretamente a essa atividade. Ao se aplicar um valor de choque pertinente à alteração das demandas, observa-se o impacto causado pelos efeitos multiplicadores dos setores.

Para este trabalho foi utilizada a matriz Insumo-Produto do Brasil de 2013, que é dividida em 68 setores e 128 produtos. A matriz foi construída a partir de dados das Contas Nacionais segundo a metodologia apresentada por Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010). No Gráfico 2 são apresentados os multiplicadores de impacto dos setores da matriz.

Gráfico 2: Multiplicadores Totais de Impacto dos Setores da MIP



Fonte: MIP

4. Estudo do Impacto Econômico e a Nacionalização

4.1 A Base de Dados

A base de dados utilizada para as simulações se refere às informações dos investimentos necessários para a operação da *spinoff* FabNS no mercado brasileiro pela comercialização de 13 equipamentos TERS durante seus primeiros cinco anos. Para tanto, calculou-se qual seria o gasto ou desembolso total da empresa para este montante de produção, segundo os elementos de despesa do quadro 1, contabilizando também um equipamento permanente da empresa designado para o desenvolvimento. Este cálculo é uma extrapolação do orçamento inicial do modelo de negócios. O modelo parte da produção e entrega sob demanda, onde a receita de uma venda é utilizada para a produção do equipamento seguinte. Para os cálculos da presente análise, já se consideram os gastos com a produção e venda do total dos 13 equipamentos no período de cinco anos.

Quadro 1: Total de Desembolsos por Elemento de Despesa para Cinco Anos de Operação da *Spinoff*

Elemento de Despesa	Desembolso (R\$) (Valores de 2016)
Material de consumo em geral	16.800,00
Componentes internacionais para a montagem de 13 TERS	3.593.060,12
Impostos (despesas de internação) de componentes importados para montagem de 13 TERS	1.827.347,47
Componentes nacionais para a montagem de 13 TERS	1.069.097,25
Salários de equipe própria	869.352,00
Viagens e Diárias	288.668,19
Serviços de terceiros/consultorias/testes	103.852,84
Obras e instalações	32.503,74
Softwares	39.036,00
Máquinas e equipamentos nacionais	151.955,46
Componentes nacionais TERS de desenvolvimento	82.239,25
Demais	69.716,21
Máquinas e equipamentos importados	300.460,75
Componentes importados TERS de desenvolvimento	276.389,24
Demais	24.071,51
Despesas operacionais e administrativas	529.365,08
TOTAL	8.685.142,32

Fonte: Elaboração própria.

O exercício de estimativa de impacto fez uso da associação dos itens do Quadro 1 com os setores da MIP e pode ser observado, para os diversos cenários, na tabela do Anexo 1. Entretanto, cabe ressaltar que, dado que a MIP está construída em um nível de agregação

setorial maior que as informações apresentadas no Quadro 1, as correspondências feitas impõem limitações já que cada setor da MIP engloba diversas atividades.

4.2 Estimativas de Impacto e Análise de Cenários

As estimativas de impacto foram realizadas no sentido de avaliar a diferença de impacto na economia entre confeccionar o produto a partir de componentes adquiridos no mercado nacional, ou internacional, ou ambos. Para tanto, foram desenhados três cenários:

Cenário 1: importação dos componentes e equipamentos do exterior

Cenário 2: venda do produto a partir de componentes nacionais e importados

Cenário 3: venda do produto a partir de componentes nacionais

Os Cenários 1 e 2 representam situações factíveis, cuja escolha se daria a partir do direcionamento estratégico da *spinoff*. O Cenário 1, entretanto, não seria o foco deste estudo, nem tampouco a missão da empresa, uma vez que o argumento proposto neste artigo é a nacionalização na geração de instrumentação científica; sua hipótese é utilizada para comparação. O Cenário 2 é o mais provável e o que reflete a realidade atual do projeto. Já o Cenário 3 é hipotético, uma vez que determinados padrões de qualidade e confiabilidade ainda não podem ser garantidos atualmente pela *spinoff* a partir somente de componentes nacionais. Entretanto, este último cenário é particularmente relevante para a discussão de que a demanda a partir da operação da empresa pode fomentar o desenvolvimento, no mercado local, de fornecedores especializados.

Por meio da MIP foram calculados os choques nos setores pertinentes, provocados pela alteração das demandas. O Anexo I apresenta o detalhamento dos impactos totais nos três cenários em termos de valor bruto da produção⁶. A Tabela 3 mostra o resumo dos resultados obtidos e contém a descrição dos cenários, do choque aplicado, do impacto gerado e do multiplicador geral resultado da matriz.

⁶ Valor bruto da produção representa toda a receita bruta gerada na economia, ou seja, compreende a totalidade das transferências realizadas mais as vendas efetuadas mais as variações dos estoques.

Tabela 3: Resultados da Aplicação da MIP na Estimativa de Impacto Econômico da Spinoff

Cenários	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Viagens e Diárias	0,00	168.873,23	168.873,23
Salários de Equipe Própria	0,00	869.352,00	869.352,00
Serviços de Terceiros	0,00	103.852,84	103.852,84
Despesas de Internação	3.411.952,36	1.827.347,47	0,00
Materiais de Consumo	0,00	16.800,00	293.189,24
Materiais Permanentes Nacionais	0,00	1.138.813,45	1.138.813,45
Materiais Permanentes Importados	0,00	24.071,51	3.617.131,63
Softwares	0,00	39.036,00	39.036,00
Obras e Instalações	0,00	32.503,74	32.503,74
Despesas Administrativas	0,00	186.858,00	186.858,00
Total (Choques)	3.411.952,36	4.407.508,24	6.449.610,13
Impacto	4.769.548,56	7.357.160,58	11.791.593,35
Multiplicador Geral	1,398	1,669	1,828
Exportação	72.475,24	239.080,18	526.089,32
Consumo do Governo	3.198.116,66	1.729.325,09	40.267,35
Consumo das Famílias	408.914,21	1.345.922,11	3.446.846,11
Formação Bruta de Capital	167.349,55	623.003,92	2.043.692,70
Importação	116.643,13	586.207,02	1.801.886,82
Impostos	156.039,36	387.518,28	838.035,93
Imposto de Importação	2.444,40	16.544,11	57.824,47
ICMS	41.579,11	110.124,86	241.236,48
IPI	2.515,42	23.297,13	86.381,01
Outros	109.500,42	237.552,19	452.593,97
Remunerações	2.472.761,29	2.168.013,68	1.959.751,90
Salários	1.802.041,86	1.631.091,52	1.542.457,82
Contribuições Sociais	670.719,43	536.922,17	417.294,08
Empregos (unidades)	43,42	52,95	64,27

Fonte: Elaboração própria a partir da MIP

Nota: Nota: Cenário 1: Todos os equipamentos são importados e o choque é a arrecadação de 15% de imposto de importação; Cenário 2: FabNS em operação, importando apenas parte dos componentes dos equipamentos TERS; Cenário 3: FabNS em operação com a substituição da importação dos componentes pela produção nacional.

No Cenário 1, o choque de R\$ 3,4 milhões está relacionado ao pagamento de impostos com a importação dos equipamentos, sendo o choque aplicado ao setor “Administração pública, defesa e seguridade social”. O impacto gerado seria de R\$ 4,7 milhões na economia, o que representa um fator multiplicador de 1,398. Apesar da importação de todos os componentes, este cenário movimentaria a economia, ainda que pouco, especialmente pela ampliação do consumo do governo. No Cenário 2, o choque é aplicado em 17 setores da economia, com valor de R\$ 4,4 milhões, o que causaria um impacto de R\$ 7,3 milhões. O fator multiplicador geral neste caso é de 1,668. Cabe observar a ampliação do consumo das famílias (utilizada como uma medida de “bem-estar”) e da

formação bruta de capital, refletindo as necessidades de investimento para a produção dos componentes nacionais. No Cenário 3, onde todos os componentes seriam adquiridos nacionalmente para a montagem, produção e venda do equipamento, o choque é de R\$ 6,4 milhões em 16 setores da economia. Neste caso, exclui-se o setor impactado pelos impostos de importação (“Administração pública, defesa e seguridade social”), em relação ao Cenário 2. O choque para o Cenário 3 causa um impacto de R\$ 11,8 milhões na economia, com fator multiplicador geral de 1,828. Novamente, há maiores benefícios em termos do consumo das famílias e da formação bruta de capital. Entretanto, considerando que a matriz industrial brasileira ainda é incompleta em relação principalmente aos setores de alta tecnologia, a nacionalização da produção dos componentes ainda pressiona significativamente as importações em relação aos demais cenários, embora haja compensação parcial pelo aumento das exportações.

Destaca-se que nesta análise preliminar, para todos os cenários, consideraram-se apenas os investimentos ou desembolsos a serem realizados para a produção dos equipamentos e não as receitas advindas da atividade. Portanto, as projeções mostradas podem ser consideradas como um limite inferior dos impactos totais⁷. Cabe ressaltar que o crescimento dos diversos setores, apesar da ausência de investimento direto, demonstra a interdependência entre os setores como preconizado por Leontief.

Conclusão

O cenário do desenvolvimento científico brasileiro, no qual a pesquisa acadêmica foi instalada tardiamente e com base produtiva dominada, em setores-chave, por multinacionais, levou a um quadro de baixa ambição tecnológica e inovativa por parte das empresas brasileiras. A compra de equipamentos científicos de alta tecnologia para a pesquisa acadêmica no Brasil é realizada, na maioria das vezes, por meio de financiamento de órgãos de fomento através de aquisição internacional (COSTA e JORIO, 2018). A participação do Estado no apoio à inovação não é apenas desejável, é condição *sine qua non* para o desenvolvimento rumo à sociedade do conhecimento (MAZZUCATO, 2011).

No caso analisado neste artigo, demonstrou-se que a criação de uma *spinoff* para a venda de 13 equipamentos para TERS para o segmento de clientes do mercado acadêmico causaria um impacto de aproximadamente R\$ 7,3 milhões (Cenário 2), mesmo com parte dos componentes importados. Em comparação à importação total do equipamento, o Cenário 2 é mais favorável que o Cenário 1, ou seja, produzir os equipamentos no país movimenta mais a economia que importá-los, mesmo que o valor dos impostos seja elevado.

⁷ As projeções de um modelo de insumo-produto já são sobrevalorizadas em razão dos preços serem rígidos e, portanto, não captarem efeitos de substituição entre os insumos. Como se trata de um modelo de equações lineares em um ambiente econômico com hipóteses de retornos constantes de escala e oferta ilimitada de insumos, os cenários elaborados apresentam resultados proporcionais e similares em termos de estrutura, apenas com modificações nos valores das variações projetadas.

Os resultados obtidos com a análise da aplicação da MIP ao estudo de caso da criação de *spinoff* para a venda de equipamentos TERS indicam que o investimento em empresas de base tecnológica de instrumentação a partir do conhecimento gerado na universidade pode ter um elevado impacto econômico, justificando seu foco por parte das políticas de apoio à ciência, tecnologia e inovação no Brasil.

Ao integrar atores (academia, governo, indústria) e grandes áreas do conhecimento (ciência, engenharia, metrologia, economia), o campo da instrumentação pode assumir um protagonismo na agenda da inovação tecnológica de um país, como é o caso da Alemanha e dos Estados Unidos. Sob a perspectiva socioeconômica, deter o conhecimento de tecnologias de instrumentação é sinônimo de soberania e competitividade científica e industrial para um país. Neste trabalho, além de apontar a relevância do tema, demonstrou-se que o investimento governamental em estruturas para gerar instrumentação de alta tecnologia irá reduzir o déficit da balança de pagamentos, reduzindo a dependência tecnológica nacional.

Destaca-se que este efeito é ainda maior, vista a existência de efeitos dinâmicos não mensurados nesta metodologia. Os valores considerados na presente análise para o desenvolvimento de uma empresa *spinoff* nacional de base tecnológica não mensuraram os resultados e efeitos intangíveis como os relacionados à geração de conhecimento tácito, aos processos de aprendizado, aos fluxos de informação entre os atores da cadeia produtiva e à formação de recursos humanos. Partindo-se do referencial neo-schumpeteriano que considera o aprendizado como ponto de partida para a construção de capacidades tecnológicas e inovativas nas empresas, os efeitos de processos intensivos de aprendizado, como os propiciados por uma empresa de base tecnológica de origem universitária, são enormes.

Ademais, como o produto a ser desenvolvido pela empresa é complexo e requer componentes específicos, o fornecimento parcial de insumos nacionais, referentes ao cenário 2 que seria o mais realista para o Brasil no médio prazo, exige a construção de elevadas capacidades tecnológicas também em outros setores, ampliando a acumulação de conhecimento e construção de competências. E por fim, cabe mencionar os impactos futuros indiretos e não previstos decorrentes do processo de difusão de uma nova tecnologia, que são também permeados pela incerteza (ROSENBERG, 1996). Uma nova tecnologia pode ter aplicação em diversos outros setores não previstos inicialmente. Os exemplos apresentados na seção 1 ilustram a diversidade de uso de instrumentação científica no longo prazo.

Apesar de não ter sido mensurado diretamente, esses elementos reforçam importantes contribuições da universidade como a formação e treinamento de mão-de-obra qualificada e a geração de pesquisa de fronteira. Na ausência de empresas com capacidades para absorver o conhecimento e a tecnologia geradas nas universidades, a *spinoff* de base tecnológica apresenta-se como um canal para a tradução de conhecimentos e pesquisas em produtos. Ademais de viabilizar a transferência de conhecimento e de tecnologias para o mercado e a sociedade, estas empresas favorecem a criação de novos nichos de mercado e ou a exploração de altas oportunidades tecnológicas em setores já existentes (PINHO et.

al, 2002). Portanto, são grandes os impactos diretos e indiretos, mensuráveis e intangíveis de *spinoffs* de base tecnológica e de origem em ICTs, justificando uma política mais integrada e sistêmica de apoio a estes empreendimentos no Brasil (FREIRE, MARAYAMA e POLI, 2017).

Esse estudo mostra que, com a nacionalização da produção de bens de consumo ou capital, é possível amenizar o processo de dependência tecnológica. Através da estruturação de um setor industrial voltado para a produção de bens de capital e de consumo, e políticas públicas voltadas ao estímulo à criação de empresas nacionais de alta tecnologia, o investimento em ciência torna a balança comercial superavitária, independentemente dos resultados científicos, tecnológicos ou de inovação advindos da pesquisa relacionada. Defende-se, ainda, que esta é uma transformação necessária no ambiente de inovação brasileiro, caso queira-se adotar o conhecimento como base para o desenvolvimento científico e tecnológico. Em nanociência e nanotecnologia, esta transformação faz-se especialmente necessária, por ser um campo tecnológico que está em sua infância e no qual o Brasil tem plena capacidades de aproveitar as janelas de oportunidade.

Agradecimentos

Capes Processo 88887.163193/2018-00, RELAI 17 – Instrumentação científica como plataforma de inovação para os campos da microscopia e da espectroscopia.

Referências

- ALENCAR, R. S., et al. Probing spatial phonon correlation length in post-transition metal monochalcogenide GaS using tip-enhanced Raman spectroscopy. **Nano Letters**, v. 19, n. 10, p. 7357-7364, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b02974>
- ALVES, O. L. Nanotecnologia e desenvolvimento. Campinas, SP: **LQES NEWS**, 2005.
- BEAMS, R. et al. Spatial coherence in near-field Raman scattering. **Physical Review Letters**, v. 113, n. 18, p. 186101, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.186101>
- CANÇADO, L. G. et al. Mechanism of near-field Raman enhancement in one-dimensional systems. **Physical Review Letters**, v. 103, n. 18, p. 186101, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.103.186101>
- CHAVES, A. (Ed.); FAZZIO, A.; MELO, C. P.; ALMEIDA, R. M.; FARIA, R. M.; SCHELLARD, R. C. **Física para um Brasil Competitivo**. Brasília, DF: Capes, 2007.
- CARDONA, M. (Ed.). **Light Scattering in Solids**. Springer Topics in Applied Physics. First Ed. 1983.

COSTA, M. D. D.; JORIO, A. O fomento à instrumentação científica: uma política necessária. (pôster) In: Seminário de Avaliação de Políticas em C,T&I, 1, 2018, Brasília. **Anais**. Brasília, DF: CNPq e CGEE, 2018.

FERREIRA, P. J.; ALBUQUERQUE, J. M. A nova economia: nanotecnologia. **Jornal Público**, v. 20, 2005.

FREIRE, C. T.; MARUYAMA, F. M.; POLI, M. Políticas públicas e ações privadas de apoio ao empreendedorismo inovador no Brasil: programas recentes, desafios e oportunidades. EM: TURCH, L. M; MORAIS, J. M. **Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil**: avanços recentes, limitações e propostas de ações. Brasília: Ipea, 2017.

FURTADO, A. T. Tecnologia no setor de instrumentação biomédica. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 28, n. 4, p. 117-125, 1993.

GEIM, A. K.; NOVOSELOV, K. S. The rise of graphene. **Nature materials**, v. 6, n. 3, p. 183-191, 2007.

GUILHOTO, J. J. M. (2011). **Análise de Insumo-Produto**: Teoria, Fundamentos e Aplicações. Livro em Elaboração. Departamento de Economia. FEA-USP. Disponível em <http://mpra.ub.unimuechen.de/32566/2/MPRA_paper_32566.pdf>. Acesso: 01 de mar. 2012.

GUILHOTO, J. J. M., SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, vol. 9, n. 2., p. 277-299. Abril-Junho, 2005.

_____ Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005. **Economia & Tecnologia**. UFPR/TECPAR. Ano 6, v. 23, out, 2010.

HARTSCHUH, A. et al. High-resolution near-field Raman microscopy of single-walled carbon nanotubes. **Physical Review Letters**, v. 90, n. 9, p. 095503, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.90.095503>

IRVINE, J. Promoting Innovation in Scientific Instruments: some lessons for government policy. **Science and Public Policy**, v. 18, n. 3, p. 181-195, June 1991.
DOI: <https://doi.org/10.1093/spp/18.3.181>

JORIO, A., et al. Microscopy and spectroscopy analysis of carbon nanostructures in highly fertile Amazonian anthrosoils. **Soil and Tillage Research**, v. 122, p. 61-66, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.02.009>

JORIO, A.; MUELLER, N. S.; REICH, S. Symmetry-derived selection rules for plasmon-enhanced Raman scattering. **Physical Review B**, v. 95, n. 15, p. 155409, April, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.95.155409>

- JORIO, A. et al. Tip-enhanced spectroscopy and imaging of carbon nanomaterials. In: **Handbook of Carbon Nanomaterials**. 1 ed. World Scientific Publishing Co Pte Ltd., v. 9-10, p. 175-221, 2019.
- KURESKI, R.; NUÑEZ, B. C; RODRIGUES, R. L. Multiplicadores de emprego e renda da indústria brasileira de celulose, papel e gráfica em 2003: uma aplicação da matriz de insumo-produto. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 45, 2007, **Anais**. Londrina – PR: SOBER, 2007, 19 p.
- MACIEL, I. O. et al. Electron and phonon renormalization near charged defects in carbon nanotubes. **Nature materials**, v. 7, n. 11, p. 878-883, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1038/nmat2296>
- MACPHERSON, A. Academic-industry Linkages and Small Firm Innovation: evidence from the scientific instruments sector. **Entrepreneurship & Regional Development: An International Journal**, v. 10, n. 4, p. 261-276, 1998.
DOI: <https://doi.org/10.1080/08985629800000015>
- MAZZUCATO, M. **The entrepreneurial state**. 1. ed. London: Demos, 2011. v. 49.
- MIRANDA, A.M. et al. Line shape analysis of the Raman spectra from pure and mixed biofuels esters compounds. **Fuel**, v. 115, p. 118-125, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.06.038>
- NOVOSELOV, K. S. et al. A roadmap for graphene. **Nature**, v. 490, n. 7419, p. 192-200, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature11458>
- NOVOTNY, L. The history of near-field optics. **Progress in optics**, v. 50, p. 137, 2007.
- PAGANO, M. C. et al. Depth dependence of black carbon structure, elemental and microbiological composition in anthropic Amazonian dark soil. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 298-307, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.001>
- PIKETTY, T. **Capital in the twenty-first century**. Trans. Arthur Goldhammer. Cambridge: Belknap, 2014.
- PINHO, M.; CORTES, M. R.; FERNANDES, A.C. A fragilidade das empresas de base tecnológica em economias periféricas: uma interpretação baseada na experiência brasileira. **Ensaios FEE**, v. 23, n. 1, p. 135-162, 2002.
- PINTO, C. A. S.; DOMINGUES, E. P.; RAPINI, M. S. Política de inovação: uma avaliação do impacto inter-setorial da Lei nº 11.196/2005 (Lei do Bem). In: Seminário sobre a Economia Mineira, 18, 2019, Diamantina, MG, **Anais**. Cedeplar: Diamantina, 2019.
- RAMAN, C. V. A new radiation. **Indian J. Phys.** v. 2, p. 387–398, 1928.

- RIBEIRO-SOARES, J. et al. The use of Raman spectroscopy to characterize the carbon materials found in Amazonian anthrosoils. **Journal of Raman Spectroscopy**, v. 44, n. 2, p. 283-289, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/jrs.4191>
- RODRIGUES, A. De G.; GALZERANI, J.C. Espectroscopias de infravermelho, Raman e de fotoluminescência: potencialidades e complementaridades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 4309-1, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172012000400009>
- ROSENBERG, N. Quão exógena é a ciência? In: **Por dentro da caixa-preta: tecnologia e economia**. Tradutor: José Emílio Maiorino – Campinas, SP: Editora Unicamp, 2006, p. 215-241.
- ROSENBERG, N. Scientific instrumentation and university research. In: **Exploring the Black Box: technology, economics and history**. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1982, p. 250-263.
- _____. Uncertainty and technological change. In: Landau, R., Taylor, T. and Wright, M. (Eds.) **The Mosaic of Economic Growth**. Palo Alto, CA: Stanford University Press, 1996, p. 334–355.
- RYZHIKOVA, E.; et al. Raman spectroscopy of blood serum for Alzheimer’s disease diagnostics: specificity relative to other types of dementia. **Journal of Biophotonics**, v. 8, n. 7, p. 584-596, July, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbio.201400060>
- SCHRADER, B. (Ed.). **Infrared and Raman spectroscopy: methods and applications**. John Wiley & Sons, 2008.
- SHINN, T. Scientific instrumentation: history and sociology of. In: SMELSER, N.J. & BALTES, P.B. (Eds.) **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, Pergamon, 2001, p. 13737-13741.
- SBF. Sociedade Brasileira de Física. **A Física e o desenvolvimento nacional**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Brasília, DF, 2012.
- STAL, E.; CERANTOLA, W.A. PADCT: uma avaliação preliminar do subprograma de instrumentação. **Revista de Administração**, v. 24, n. 2, p. 83-93, abril-junho, 1989.
- STÖCKLE, R.M. et al. Nanoscale chemical analysis by tip-enhanced Raman Spectroscopy. **Chemical Physics Letters**, v. 318, n. 1-3, p. 131-36, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(99\)01451-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(99)01451-7)
- VAN HELDEN, A. The birth of the modern scientific instrument, *1550-1700*. In: J.G. Burke (Ed.), **The uses of science in the Age of Newton**. Berkeley: University of California Press, 1983, p. 49-84.
- VON HIPPEL, E. **The Sources of Innovation**. Oxford, UK: Oxford University Press, 1988.

YEO, B-S. et al. Tip-enhanced Raman spectroscopy – its status, challenges and future directions. **Chemical Physics Letters**, n. 472, v. 1-3, p. 1-13, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2009.02.023>

ZHANG, M.Q. et al. Principle, systems, and applications of tip-enhanced Raman spectroscopy. **Science China Physics, Mechanics and Astronomy**, v. 55, n. 8, p. 1335-1344, 2012. DOI: 10.1007/s11433-012-4769-7

Apêndice

Tabela A: Detalhamento dos Impactos Totais nos 3 Cenários

	Setores	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
		Choque	Impacto	Choque	Impacto	Choque	Impacto
1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura	0,000	0,015	0,000	0,017	0,000	0,021
2	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	0,000	0,006	0,000	0,006	0,000	0,005
3	Produção florestal; pesca e aquicultura	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000	0,009
4	Extração de carvão mineral	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,004
5	Extração de petróleo e gás	0,000	0,020	0,000	0,043	0,000	0,070
6	Extração de minério de ferro	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,005
7	Extração de minerais metálicos não-ferrosos	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,005
8	Abate e produtos de carne	0,000	0,012	0,000	0,010	0,000	0,006
9	Fabricação e refino de açúcar	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,005
10	Outros produtos alimentares	0,000	0,011	0,000	0,011	0,000	0,012
11	Fabricação de bebidas	0,000	0,006	0,000	0,007	0,000	0,005
12	Fabricação de produtos do fumo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	Fabricação de produtos têxteis	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000	0,006
14	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,004
15	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
16	Fabricação de produtos da madeira	0,000	0,002	0,000	0,011	0,000	0,013
17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	0,000	0,010	0,000	0,043	0,000	0,111
18	Impressão e reprodução de gravações	0,000	0,011	0,000	0,059	0,000	0,079
19	Refino de petróleo e coqueiras	0,000	0,034	0,000	0,079	0,000	0,144
20	Fabricação de biocombustíveis	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,005
21	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos	0,000	0,008	0,000	0,026	0,000	0,061
22	Fabricação de defensivos, desinfestantes e químicos	0,000	0,006	0,000	0,018	0,000	0,041
23	Fabricação de produtos de limpeza e cosméticos	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000	0,008
24	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003
25	Fabricação de produtos de borracha e de plástico	0,000	0,008	0,000	0,043	0,000	0,127
26	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,000	0,011	0,000	0,012	0,000	0,011
27	Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia	0,000	0,008	0,000	0,021	0,000	0,038
28	Metalurgia de metais não-ferrosos	0,000	0,003	0,000	0,015	0,000	0,035
29	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas	0,000	0,011	0,016	0,046	0,000	0,075
30	Fabricação de equipamentos eletrônicos e ópticos	0,000	0,006	1,141	1,371	5,011	5,979
31	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	0,000	0,005	0,016	0,052	0,016	0,138
32	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	0,000	0,004	0,000	0,011	0,000	0,024
33	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004
34	Fabricação de peças para veículos automotores	0,000	0,006	0,000	0,008	0,000	0,015
35	Fabricação de outros equipamentos de transporte	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003
36	Fabricação de móveis e de produtos diversos	0,000	0,003	0,056	0,064	0,056	0,070
37	Manutenção, reparação e instalação de máquinas	0,000	0,012	0,006	0,032	0,006	0,045
38	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	0,000	0,050	0,063	0,152	0,063	0,164
39	Água, esgoto e gestão de resíduos	0,000	0,051	0,017	0,052	0,017	0,035
40	Construção	0,000	0,080	0,000	0,057	0,000	0,028
41	Comércio e reparação de veículos automotores	0,000	0,012	0,000	0,017	0,000	0,035
42	Comércio por atacado e a varejo	0,000	0,068	0,000	0,291	0,000	0,796
43	Transporte terrestre	0,000	0,040	0,000	0,101	0,000	0,245
44	Transporte aquaviário	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000	0,014
45	Transporte aéreo	0,000	0,009	0,122	0,142	0,122	0,156
46	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes	0,000	0,027	0,000	0,057	0,000	0,108
47	Alojamento	0,000	0,007	0,075	0,084	0,075	0,088
48	Alimentação	0,000	0,045	0,000	0,036	0,000	0,018
49	Edição e edição integrada à impressão	0,000	0,005	0,002	0,032	0,002	0,034
50	Atividades de televisão, rádio e cinema	0,000	0,014	0,000	0,389	0,000	0,422
51	Telecomunicações	0,000	0,039	0,017	0,096	0,017	0,134
52	Desenvolvimento de sistemas	0,000	0,059	0,042	0,141	0,042	0,138
53	Intermediação financeira, seguros e previdência	0,000	0,270	0,000	0,238	0,000	0,231
54	Atividades imobiliárias	0,000	0,021	0,084	0,131	0,084	0,155
55	Atividades jurídicas, contábeis e consultoria	0,000	0,046	0,034	0,159	0,034	0,312
56	Serviços de arquitetura, engenharia, análises e P&D	0,000	0,029	0,003	0,039	0,003	0,074
57	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	0,000	0,034	0,894	0,986	0,894	1,065
58	Aluguéis não-imobiliários	0,000	0,017	0,010	0,046	0,010	0,065
59	Outras atividades administrativas	0,000	0,126	0,000	0,131	0,000	0,143
60	Atividades de vigilância, segurança e investigação	0,000	0,037	0,000	0,034	0,000	0,031
61	Administração pública, defesa e seguridade social	3,412	3,422	1,827	1,848	0,000	0,035
62	Educação pública	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003
63	Educação privada	0,000	0,006	0,000	0,012	0,000	0,014
64	Saúde pública	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65	Saúde privada	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
66	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	0,000	0,004	0,000	0,019	0,000	0,022
67	Organizações associativas e outros serviços pessoais	0,000	0,007	0,000	0,020	0,000	0,041
68	Serviços domésticos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TOTAL	3,412	4,770	4,424	7,357	6,450	11,792