

PRODUÇÃO E USO SETORIAL DE TECNOLOGIA NO BRASIL

PAULO CÉSAR MORCEIRO*
MILENE SIMONE TESSARIN†
JOAQUIM JOSÉ MARTINS GUILHOTO‡

Resumo

Este estudo apresenta uma visão abrangente e inédita da produção e uso de tecnologia para todos os 68 setores de atividade da economia brasileira. Para isso, foram utilizados dados de pesquisa e desenvolvimento (P&D) publicados pela primeira vez nas novas contas nacionais, além da P&D dos institutos públicos de pesquisa obtida via Lei de Acesso à Informação. Para captar a P&D indireta incorporada nos insumos intermediários e bens de investimento (nacionais e importados) foram utilizadas matrizes de insumo-produto e de investimento. Resultados mostram heterogeneidade setorial na produção e no uso da P&D. Conclui-se que o Estado tem um papel significativo nos investimentos tecnológicos e que a mudança estrutural para os serviços é preocupante em termos da geração de tecnologia porque os serviços produzem pouca tecnologia no país.

Palavras-chave: Pesquisa & Desenvolvimento; P&D incorporada; institutos públicos de pesquisa; insumos intermediários; análise de insumo-produto.

Abstract

This study presents a comprehensive and unprecedented view of the production and use of technology for all 68 sectors in the Brazilian economy. For this, research and development (R&D) data published for the first time in the new national accounts were used, in addition to the R&D of public research institutes obtained through the Access to Information Law. To capture the indirect R&D incorporated in the intermediate inputs and investment goods (domestic and imported), input-output and investment matrices were used. Results show sectoral heterogeneity in the production and use of R&D. It is concluded that the State has a significant direct and indirect role in technological investments and that the structural change for services is worrying in terms of the generation of technology because the services sectors produce little technology in the country.

Keywords: Research and Development (R&D); product-embodied R&D; public research institutes; intermediate inputs; input-output analysis.

JEL classification: O32, L00, C67

DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/1980-5330/ea172515>

* Utrecht University. E-mail: paulo.morceiro@alumni.usp.br

† Utrecht University. E-mail: m.s.tessarini@uu.nl

‡ Universidade de São Paulo. E-mail: guilhoto@usp.br

1 Introdução

O progresso tecnológico tem sido responsável por grandes transformações que afetam o modo como as pessoas vivem e se relacionam. Ele ocorre principalmente pela introdução de inovações de processo e de produto, que não só modificam as estruturas produtivas e a eficiência dos insumos, como também aumentam as opções da cesta de consumo. Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) têm sido o combustível do progresso tecnológico, especialmente nos países desenvolvidos, que é irradiado pelo comércio para as nações menos inovativas na forma de produtos inovadores, materiais mais eficientes e bens de capital mais produtivos.

Apesar dos avanços substantivos produzidos pela Pesquisa de Inovação Tecnológica (Pintec) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ao diminuir o *gap* de dados quanto à P&D privada para diversos setores de atividade, o Brasil carece de estudos sobre P&D que avaliem todos os setores de sua estrutura produtiva (agricultura, indústria e serviços). Em geral, as pesquisas brasileiras concentram-se na manufatura (FURTADO; CARVALHO, 2005; DE NEGRI; SALERNO, 2005; ZUCOLOTO; TONETO JÚNIOR, 2005). Além disso, o sistema nacional de inovação dos países em desenvolvimento (PEDs) depende muito da P&D pública (OECD, 2005) – inclusive no Brasil (NOGUEIRA; ARRAES, 2015) – a qual não é captada pela Pintec.

Esta pesquisa também não teve conhecimento de algum estudo setorial bem desagregado que mensure a P&D indireta incorporada nos fluxos de insumos intermediários e nos bens de investimento nacionais e importados. A P&D indireta, nacional e estrangeira, é uma forma relevante de difusão tecnológica, especialmente para os setores tradicionais da indústria e dos serviços (CASTELLACCI, 2008; HAUKNES; KNELL, 2009; OECD, 2005; PAPAConstantinou; SAKURAI; WYCKOFF, 1998). Esses setores aumentam a sua produtividade ao adquirirem inovações incorporadas em insumos intermediários e bens de capital.

O presente artigo objetiva mostrar um retrato da P&D, pública e privada, direta e indireta, para 68 setores do Sistema de Contas Nacionais (SCN) do Brasil. Trata-se de uma abordagem inédita ao indicar a P&D realizada por todos os setores da economia brasileira e com elevado grau de detalhamento setorial (mais amplo que o da Pintec), inclusive ao trazer informações setoriais da P&D pública, que é muito relevante tanto para os setores tradicionais quanto para os modernos.

Esta pesquisa lidou com um grande volume de dados de várias fontes de informação, em especial das novas contas nacionais do Brasil¹, além de realizar alguns tratamentos para cumprir o objetivo proposto. Particularmente, destacam-se as informações dos diversos institutos públicos de pesquisa recebidas no âmbito da Lei de Acesso à Informação. A proposta foi levantar os dispêndios em P&D feitos pelos órgãos públicos de pesquisa, identificar a finalidade setorial e alocá-los nos respectivos setores de atividade produtiva. Desse modo, foram identificados volumes expressivos de P&D pública destinados aos setores agropecuário, mineração, outros equipamentos de transportes, saúde pública, entre outros. Com isso um vetor de P&D setorial foi

¹Os autores agradecem os comentários recebidos dos pareceristas anônimos e da editora da Revista Economia Aplicada que contribuíram para melhorias no artigo, tornando-o mais claro e consistente. Também agradecem o suporte técnico dos pesquisadores da divisão das Contas Nacionais e da PINTEC, ambos do IBGE.

criado e por meio de técnicas de insumo-produto foi possível captar a P&D indireta incorporada nos insumos intermediários e bens de investimentos nacionais e importados. Para esse último ponto foram empregadas informações da matriz de insumo-produto (MIP) e da matriz de absorção de investimentos (MAI) setor por setor.

Verificou-se que o Estado tem um grande papel no desenvolvimento tecnológico brasileiro tanto diretamente, ao fazer P&D, quanto indiretamente, por meio de regulamentações setoriais e financiamentos de estímulo à P&D. Além disso, foi constatada uma elevada diversidade setorial tanto na *produção* quanto no *uso* da P&D e que os insumos intermediários constituem uma forma relevante de aquisição de conhecimento tecnológico, especialmente porque o Brasil depende de modo substantivo de materiais e componentes tecnológicos importados (MORCEIRO; GUILHOTO, 2020).

Além desta introdução, a seção 2 faz uma revisão bibliográfica sobre P&D direta e indireta. A seção 3 apresenta as bases de dados utilizadas, o tratamento das informações e a metodologia de insumo-produto empregada. A seção 4 exhibe o montante de P&D realizada por todos os setores produtivos, bem como o esforço tecnológico (P&D/produção) setorial. A seção 5 mostra a P&D indireta incorporada nos bens de investimento e nos insumos intermediários adquiridos por setor produtivo. A seção 6 exhibe as conclusões.

2 O papel da P&D direta e indireta no progresso tecnológico

O progresso tecnológico realiza-se por meio de inovações. Schumpeter (1934, 1942) colocou as inovações no centro do desenvolvimento em um processo denominado “destruição criadora” em que tecnologias novas substituem as antigas e geram grandes transformações na sociedade ao longo do tempo. O autor mencionou cinco tipos de inovações: i) introdução de novos produtos (inteiramente novo ou substancialmente aprimorado); ii) introdução de novos métodos de produção; iii) abertura de novos mercados; iv) desenvolvimento de novas fontes de oferta de insumos intermediários; e v) criação de novas estruturas de mercado em uma indústria (SCHUMPETER, 1934).

As inovações ao serem introduzidas no mercado mantêm ou melhoram a competitividade das firmas via aumento de demanda ou redução de custos (OECD, 2005). Um produto novo pode expandir a participação de mercado da firma inovadora e aumentar a sua margem de lucro, enquanto uma inovação de processo eleva a produtividade e/ou garante uma vantagem de custos sobre seus competidores. Para a sociedade, as inovações geram diversos benefícios como economia de tempo para realizar uma tarefa, a cura de doenças e a mitigação das mudanças climáticas. Pode-se dizer que “[...] os resultados de pesquisas e as novas tecnologias têm frequentemente aspectos de um *bem público* pois os gastos para torná-las disponíveis a vários usuários são baixos se comparados a seus custos de desenvolvimento.” (OECD, 2005, p. 30, tradução nossa).

A inovação pode resultar das atividades de P&D realizadas internamente pelas empresas e institutos de pesquisa e, também, da adoção de conhecimentos tecnológicos desenvolvidos por outras instituições. A P&D objetiva expandir o estoque de conhecimentos científicos e tecnológicos e aplicá-los em mercadorias comercializáveis. Seus laboratórios funcionam como “fábricas de tecnologias” que buscam gerar inovações internamente de modo sistemático

e contínuo e absorver tecnologia criada por outras instituições para aumentar o potencial inovativo (COHEN; LEVINTHAL, 1989). Adicionalmente, há dois modos de se adquirir conhecimento tecnológico externamente. Primeiro, pela *difusão desincorporada* relacionada à transmissão de ideias, *know-how* técnico, manuais, patentes, licenças e marcas registradas. Segundo, pela *difusão incorporada nos produtos* em que a inovação inicial está embutida neles (bens ou serviços)². “Uma vez que outras indústrias usam este produto como um insumo intermediário ou um bem de capital, a inovação torna-se incorporada em muitos outros produtos, incluindo aqueles usados para fins de demanda final (por exemplo, consumo, investimento e exportações)” (DIETZENBACHER; LOS, 2002, p. 408). Dessa maneira, além da P&D, a inovação pode resultar de novas combinações e da aplicação de tecnologias incorporadas nos insumos intermediários e, também, da adoção de novas tecnologias materializadas nos bens de capital (máquinas e equipamentos) (OECD, 2005, p. 34-36).

Na busca pela inovação, algumas atividades inovativas são relativamente mais importantes para algumas indústrias que para outras. A P&D é vital para os setores manufatureiros de alta e média-alta tecnologia e para os serviços intensivos em conhecimento como *softwares* e outros serviços de informação (GALINDO-RUEDA; VERGER, 2016; OECD, 2005). No entanto, para diversos setores de baixa e média-baixa tecnologia e para os serviços tradicionais a atividade de P&D interna é menos relevante que a adoção de tecnologias desenvolvidas externamente, principalmente na forma de bens de capital e insumos intermediários (CASTELLACCI, 2008; HAUKNES; KNELL, 2009; PAVITT, 1984). Geralmente, as atividades inovativas nos setores tradicionais envolvem a incorporação de bens de capital e componentes de alta tecnologia, como tecnologias de informação e biotecnologia, aplicados à indústria de alimentos processados (OECD, 2005, p. 37). Vale mencionar que aquisição de novas tecnologias incorporadas nas máquinas e nos equipamentos é o tipo de atividade inovativa mais relevante para os países em desenvolvimento (OECD, 2005, p. 138), inclusive para o Brasil (TESSARIN, 2018).

Muitos estudos têm mostrado que há elevada *heterogeneidade setorial* tanto na *produção* de tecnologia Galindo-Rueda e Verger (2016) e Hatzichronoglou (1997), quanto no *uso* de tecnologias incorporadas nos produtos (CASTELLACCI, 2008; PAPACONSTANTINOU; SAKURAI; WYCKOFF, 1998; PAVITT, 1984). Alguns estudos, comentados na sequência e que servem de base para este trabalho, utilizaram matrizes de insumo-produto e de fluxos de investimento para rastrear a *tecnologia incorporada no produto* ao “[...] assumir que o progresso tecnológico é proporcional aos investimentos em P&D e que a P&D incorporada em um produto é a mesma para cada um dos seus compradores.” (DIETZENBACHER; LOS, 2002, p. 408).

Papaconstantinou, Sakurai e Wyckoff (1998) utilizaram dados de 1990 para dez países da OCDE e mostraram que as inovações são desenvolvidas principalmente por poucos setores manufatureiros intensivos em P&D e os principais usuários de tecnologias são os setores de serviços, especialmente ao adquirir bens de capital sofisticados tecnologicamente. Além disso, os autores verificaram que os setores manufatureiros, sobretudo de alta e média-alta tecnologia, dependem relativamente menos da tecnologia embarcada nas máquinas e equipamentos, pois os insumos intermediários são a principal forma

²Sobre conhecimento incorporado e desincorporado, ver Sabato (1979) e Papaconstantinou, Sakurai e Wyckoff (1998).

de aquisição de tecnologia externa. Países grandes economicamente, como Estados Unidos, Japão e Alemanha, buscam menos tecnologia no exterior que países pequenos, os quais dependem da importação para mais de 50% da tecnologia adquirida (PAPACONSTANTINO; SAKURAI; WYCKOFF, 1998).

Hauknes e Knell (2009) utilizaram dados de 2000 para cinco países desenvolvidos (Estados Unidos, Alemanha, França, Suécia e Noruega) e mensuraram que a P&D incorporada nos produtos representou quase metade da P&D total utilizada pela economia; além disso, eles encontraram uma variação substancial entre os setores produtivos. Os autores adotaram uma agregação de oito grandes grupos de setores baseada na taxonomia de (PAVITT, 1984), modificada para incluir os setores de serviços. Hauknes e Knell (2009) verificaram que nos grupos dos setores tradicionais (como agropecuária e manufatura de baixa e média-baixa tecnologia) e dos serviços (exceto serviços intensivos em conhecimento) mais da metade da P&D total vem de fora – assim como nos setores dominados pelos fornecedores de (PAVITT, 1984) –, enquanto aqueles baseados em ciência (como a manufatura de alta tecnologia) e serviços intensivos em conhecimento (como *softwares*) mais da metade da P&D total é realizada internamente. Assim, os dois primeiros grupos são usuários e os dois últimos produtores de tecnologia, seguindo o padrão de produção e uso de inovações descrito por (PAVITT, 1984).

Gonçalves e Ferreira Neto (2016) adotaram a metodologia e estrutura de análise de (HAUKNES; KNELL, 2009) com dados para o ano de 2000 para China e Rússia e, de 2005, para Brasil e África do Sul, sendo este estudo o único que analisa países em desenvolvimento. Para os autores a P&D indireta de origem estrangeira é maior que a de origem nacional nos quatro países, sobretudo devido às importações de insumos intermediários. Isso evidencia a dependência tecnológica do exterior pelos países em desenvolvimento.

Diferentemente dos estudos anteriores, a presente pesquisa adota dados mais desagregados setorialmente e atualizados para o Brasil, além de incluir informações do setor público que nos PEDs representam cerca de metade dos investimentos em P&D. Ademais, conforme descrito na seção metodológica, utiliza-se uma matriz de investimento setor por setor ao invés de empregar uma *proxy* como nos estudos precedentes.

Antes de prosseguir cabe fazer uma ressalva. Este artigo prioriza a P&D como meio de desenvolvimento tecnológico. Embora seja razoável fazê-lo, isso não implica que se deva ignorar a existência de outras formas de aquisição de capacidades inovativas cobertas pela literatura neoschumpeteriana, como as variadas formas de aprendizado e de atividades inovativas, as quais não envolvem a busca formal por novos conhecimentos típica da P&D. As demais formas de aquisição de capacidades inovativas não serão tratadas neste artigo³, pois o foco do estudo é a P&D incorporada e desincorporada.

3 Dados e metodologia

3.1 Fonte das informações

Este trabalho baseia-se em várias fontes de informações nacionais e internacionais. A maioria dos dados são para o ano de 2013 e seguiu-se a desagregação

³Para mais detalhes sobre os diferentes tipos de atividades inovativas conduzidas por empresas brasileiras, ver (TESSARIN; SUZIGAN; GUILHOTO, 2020).

em 68 setores de atividade do novo Sistema de Contas Nacionais – Referência 2010 (SCN Ref. 2010) do IBGE. As informações setoriais de P&D, valor da produção, valor adicionado bruto (PIB a preços básicos) e empregos foram obtidas a partir das Contas Nacionais (IBGE, 2015b).

Adotaram-se as matrizes de insumo-produto (MIP) estimadas pelo método desenvolvido por [Guilhoto e Sesso Filho \(2010\)](#) para calcular a P&D indireta da cadeia produtiva setorial. Essas MIP's estão disponíveis no site do Núcleo de Economia Regional e Urbana (Nereus) da Universidade de São Paulo.

Para calcular a P&D indireta incorporada nos bens de investimento adquiridos pelos setores produtivos utilizaram-se as matrizes de investimento estimadas por ([MIGUEZ, 2016](#))⁴. Esse autor estimou matrizes de absorção de investimento (MAI), dos bens e serviços de investimento nacionais e importados, na agregação de 49 setores desde 2000 até 2013. Esta pesquisa adotou a média das MAI de 2010 a 2013 (a preços de 2013) ao invés da MAI de 2013 devido aos diferentes ciclos de negócios dos setores produtivos e período de maturação dos investimentos. Como a MAI é mais agregada que os 68 setores deste estudo, foi necessário desagregar alguns setores, principalmente de serviços, conforme procedimentos metodológicos desenvolvidos para esta finalidade⁵.

3.2 Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no Sistema de Contas Nacionais Ref. 2010

A quarta e última edição do manual internacional das contas nacionais passou a considerar como investimento os dispêndios setoriais em P&D ([SNA, 2009](#)). Além da maior difusão das estatísticas de P&D, com a adoção do novo marco estrutural das contas nacionais, será possível obter dados setoriais anualmente ao invés de a cada três anos, como é feito pela publicação da Pintec. Com isso, desde 2015, o IBGE passou a divulgar informações de investimentos em P&D para os 68 setores de atividades do novo SCN Ref. 2010, com dados anuais desde 2010.

A definição de P&D nas novas contas nacionais é praticamente igual à do manual de Frascati e há bastante sobreposição na forma de mensuração. Dessa maneira, os valores de P&D nas duas fontes são semelhantes ([KER; GALINDO-RUEDA, 2017](#)). No entanto, o SCN Ref. 2010 não inclui nos investimentos em P&D despesas como transferências, subsídios e despesas de capital fixo. As duas primeiras, apesar de adotadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), podem resultar em dupla contagem e a última pode gerar valores diferentes quando comparada à Pintec do IBGE.

No SCN Ref. 2010, a mensuração do valor investido em P&D é obtida pela *abordagem da soma dos custos totais* envolvidos nessa atividade quando ela não é objeto de transação no mercado – haja vista que a maior parte da P&D não é comercial e sim de uso interno –, a partir da soma das remunerações, do consumo intermediário e do consumo de capital fixo ([IBGE, 2015a](#)). A soma desses três componentes resulta na produção do “produto P&D” por todos os 68 setores de atividade.

⁴Vale ressaltar que o Brasil não possui matrizes oficiais de investimento setor por setor.

⁵Este artigo faz parte de um estudo mais amplo no qual apresentamos as técnicas utilizadas para a referida desagregação, além de outros procedimentos metodológicos mais detalhados ([MORCEIRO, 2018](#)).

Vale ressaltar que o SCN Ref. 2010 divulga informações de P&D para um conjunto maior de setores que a Pintec, inclusive para o setor público⁶, que investiu cerca de metade da P&D total do Brasil no período recente. Outra vantagem dos dados de P&D do SCN Ref. 2010 para este estudo é que eles já estão padronizados na mesma classificação setorial da MIP e são mensurados a preços básicos.

3.3 Tratamento dos dados da P&D dos institutos públicos de pesquisa e da Petrobras

Um diferencial do presente estudo é o tratamento e inclusão das informações de P&D realizada pelos institutos públicos de pesquisa (IPP) com finalidade setorial bem definida. A P&D dessas instituições está alocada no setor “administração pública, defesa e seguridade social” (doravante, administração pública) nas contas nacionais, o qual foi responsável por 19,1% dos investimentos do Brasil em P&D, em 2013. Após dezenas de pedidos pela Lei de Acesso à Informação foi possível identificar o valor investido pelos principais institutos públicos de pesquisa. Assim que se determinou a finalidade setorial da P&D por eles realizada, a mesma foi retirada do setor ao qual pertencia (administração pública) e alocada no de “finalidade da pesquisa”. E quando não foi possível identificar a finalidade da P&D porque a instituição faz pesquisa para múltiplos setores ou possui uma finalidade transversal – como o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) – ela foi mantida no setor da administração pública. Este estudo identificou a finalidade setorial de 60% da P&D da administração pública, sendo os principais: i) agropecuária (por ex., Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa e o Instituto Agrônomo de Campinas – IAC); ii) setor de mineração (por ex., Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e Centro de Tecnologia Mineral); iii) setor de informática e eletrônicos (por ex., Centro de Excelência em Tecnologia Eletrônica Avançada e o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer); iv) setor de outros equipamentos de transportes (por ex., o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial e a Agência Espacial Brasileira); v) setor de saúde pública (por ex., Fiocruz e Instituto Butantan); vi) setor de alimentos (por ex., Instituto de Tecnologia de Alimentos); entre outros. O [Apêndice A](#) exibe o valor da P&D realizada por cada IPP e os setores produtivos da finalidade da P&D.

Alguns institutos de pesquisa tiveram seus recursos alocados no setor “serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P&D” no SCN Ref. 2010 porque possuem laboratórios de P&D com CNPJ próprio. Um exemplo é o Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), laboratório de P&D da Petrobras, empresa que mais investe em P&D no Brasil. A sua pesquisa concentra-se na área de exploração e produção de petróleo, mas também há pesquisas nas áreas de refino de petróleo, bicompostíveis e no setor de energia. Da mesma forma, a P&D realizada pela Petrobras também foi redistribuída para o setor de finalidade da pesquisa, conforme o [Apêndice A](#). Esse procedimento evitou considerar imprecisamente toda a P&D da Petrobras no setor de refino de petróleo como é feito na Pintec/BGE.

⁶Os setores públicos são: administração pública, defesa e seguridade social; educação pública; e saúde pública.

3.4 Metodologia

P&D a partir das novas contas nacionais referência 2010

A P&D direta para cada um dos 68 setores de atividade foi calculada como segue:

$$P\&D_{direta_j} = P\&D_{interna_j} + P\&D_{externa_j} \quad (1)$$

Onde a $P\&D_{interna_j}$ é a produção do produto P&D em R\$ a preços básicos do setor j , variável que consta na Matriz de Produção do SCN Ref. 2010. A $P\&D_{externa_j}$ corresponde ao consumo intermediário do produto P&D em Reais a preços básicos do setor j , variável que consta na Matriz de Usos⁷.

Para cada um dos 68 setores de atividade, a P&D direta é a soma da produção de P&D própria (P&D interna) e o consumo intermediário de P&D (P&D externa), exceto para o setor “7180 - Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P&D”. Para evitar dupla contagem, toda a P&D externa foi subtraída do setor “7180 - Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P&D”, que é o setor responsável por comercializar a P&D para os demais setores da economia.

Considere r_j e r_i a intensidade em P&D direta do setor doméstico j e i , respectivamente:

$$r_j = \frac{P\&D_j}{X_j} \quad \text{e} \quad r_i = \frac{P\&D_i}{X_i} \quad (2)$$

Em que X_j e X_i são o valor da produção do setor j e do setor i a preços básicos.

P&D incorporada nos insumos intermediários e nos bens e serviços de investimento nacionais e estrangeiros

Considere como P&D *indireta* toda a P&D incorporada nos insumos intermediários (cadeia produtiva) e nos bens de investimento comprados pelo setor j a partir do setor i . Neste estudo, vamos adotar praticamente os mesmos procedimentos metodológicos de (HAUKNES; KNELL, 2009, p. 460), que serão descritos na sequência⁸. Os autores da nota anterior adotaram a suposição da *proporcionalidade* em que toda venda do setor i para o setor j incorpora P&D proporcional ao montante de bens e serviços comprados do setor i . Assim, nós assumimos que se o setor i investiu R\$ 50 em P&D e vendeu R\$ 1000 de produção total, sendo R\$ 700 para o setor j e R\$ 300 para o setor k , pela suposição da proporcionalidade, o setor j adquiriu indiretamente R\$ 35 de P&D do setor i e o setor k adquiriu R\$ 15⁹. Então, cada R\$ 1,00 de produção do setor i possui R\$ 0,05 de P&D incorporada.

O modelo de Leontief separa a tecnologia de produção (matriz de coeficientes técnicos) da demanda final. No modelo, N setores são representados por um vetor de produção x e o vetor da demanda final y :

$$x = Ax + y \quad (3)$$

⁷A P&D externa foi ajustada de preços do consumidor para preços básicos.

⁸(TERLECKYJ, 1974) é referência seminal da metodologia adotada neste estudo. Essa metodologia foi utilizada por Scherer (1982) e Papaconstantinou, Sakurai e Wyckoff (1998), entre outros. Utilizaremos a versão adotada (HAUKNES; KNELL, 2009) por incorporar os avanços metodológicos precedentes.

⁹Respectivamente, (R\$ 700/R\$ 1000 x R\$ 50) para o setor i e (R\$ 300/R\$ 1000 x R\$ 50) para o setor k .

Em que A representa a matriz de coeficientes técnicos dos insumos domésticos interindustriais e Ax corresponde aos insumos intermediários domésticos necessários para a produção. Dado que a inversa da matriz $(1 - A)$ exista, podemos obter:

$$x = (1 - A)^{-1}y = By \quad (4)$$

Onde B é a matriz inversa de Leontief de A . Os elementos b_{ij} da matriz B são os insumos domésticos diretos e indiretos requeridos pelo aumento na produção do setor i necessário para produzir uma unidade adicional de bens do setor j destinada a demanda final ($i, j = 1, \dots, N$, com N setores).

A intensidade em P&D total do setor j , s_j^x , inclui os investimentos em P&D do próprio setor, a P&D incorporada nos insumos intermediários domésticos e estrangeiros e a P&D incorporada nos bens e serviços de investimento comprados pelo setor j no mercado doméstico e no exterior.

Dada a intensidade em P&D direta do setor i , r_i , a matriz T corresponde à P&D doméstica direta e indireta da cadeia produtiva por unidade da demanda final do setor j , que é obtida ao multiplicar a intensidade em P&D pelos elementos b_{ij} :

$$T = \widehat{r}B \quad (5)$$

Onde o $(\widehat{})$ denota a matriz diagonalizada dos elementos do vetor correspondente r . A matriz T contém dupla-contagem quando o foco é a intensidade em P&D direta e indireta da cadeia produtiva em relação à produção (que é o nosso caso) ao invés da demanda final. (PAPACONSTANTINO; SAKURAI; WYCKOFF, 1998) contornaram essa dupla contagem ao tratar o setor j como um setor exógeno na MIP modificada T_x :

$$T_x = \widehat{r}B^* \quad (6)$$

que mensura a P&D direta e indireta da cadeia produtiva doméstica relativa à produção total desse setor.

A expressão (5) mensura a intensidade tecnológica por unidade da demanda final do setor j e (6) mensura a intensidade tecnológica por unidade da produção. Assim, ao retirar os elementos da diagonal em (6), que representa a P&D do próprio setor, temos a intensidade em P&D incorporada nos insumos intermediários domésticos adquiridos pelo setor j (t_j^d):

$$t_j^d = \sum_{i=1, i \neq j}^N \left(r_i^d \frac{b_{ij}}{b_{jj}} \right) \quad (7)$$

A intensidade em P&D direta e indireta da cadeia produtiva doméstica s_j^d – isto é, a P&D direta r_j^d e a P&D incorporada nos insumos intermediários adquiridos no mercado doméstico t_j^d – do setor j é calculada por:

$$s_j^d = r_j^d + t_j^d = \sum_{i=1}^N \left(r_i^d \frac{b_{ij}}{b_{jj}} \right) \quad (8)$$

Considere t_j^m a P&D indireta da cadeia produtiva dos insumos importados pelo setor j :

$$t_j^m = \sum_{i=1}^N (r_i^f m_{ij}) \quad (9)$$

Em que m_{ij} são os elementos da matriz \mathbf{M} de coeficientes técnicos dos insumos importados de todos os setores estrangeiros i pelo setor nacional j , em termos de unidade de produção do setor doméstico j . Considere r_i^f a fronteira tecnológica do setor i definida como a intensidade em P&D da OCDE direta e indireta (indireta apenas da cadeia produtiva). Foi usada a intensidade em P&D setorial da OCDE calculada por Galindo-Rueda e Verger (2016), e adotou-se a matriz de insumo-produto dos Estados Unidos para captar a P&D indireta.

Quanto aos bens de investimento, considere \mathbf{C} a matriz de investimento por unidade de produção do setor j – isto é, a MAI por unidade de produção do setor j , que é o setor que realizou os investimentos –, em que os elementos c_{ij}^d da matriz \mathbf{C} são os bens e serviços produzidos domesticamente pelo setor i adquiridos pelo setor j para fins de investimento dividido pela produção do setor j e os elementos c_{ij}^m da matriz \mathbf{C} são os bens e serviços produzidos no exterior pelo setor i adquiridos pelo setor doméstico j para fins de investimento dividido pela produção doméstica do setor j . Dessa forma, a P&D indireta incorporada nos bens e serviços de investimento nacionais produzidos pelo setor i adquiridos pelo setor j é dada por (t_j^{dc}):

$$t_j^{dc} = \sum_{i=1}^N (s_i^d c_{ij}^d) \quad (10)$$

Em que s_i^d é a P&D direta e indireta da cadeia produtiva doméstica do setor i . Por fim, t_j^{mc} representa a P&D indireta incorporada nos bens e serviços de investimento estrangeiros produzidos pelo setor i adquiridos pelo setor doméstico j :

$$t_j^{mc} = \sum_{i=1}^N (r_i^f c_{ij}^m) \quad (11)$$

Vale ressaltar que a forma de calcular a P&D indireta incorporada nos bens de investimento é diferente da empregada por Hauknes e Knell (2009). Em geral, os países só divulgam um vetor de investimento, dessa forma não é possível identificar os setores que fazem os investimentos. Hauknes e Knell (2009) adotaram uma solução de *second best* distribuir o vetor de investimento de acordo com a estrutura da matriz de Leontief. Assim, esta pesquisa utiliza dados de investimento com maior precisão que os estudos anteriores ao identificar tanto os setores produtores quanto os usuários dos bens e serviços de investimento.

Em resumo, a partir de (2), (7), (9), (10) e (11) temos s_j^x que corresponde a intensidade em P&D total do setor j :

$$s_j^x = r_j^d + t_j^d + t_j^m + t_j^{dc} + t_j^{mc} \quad (12)$$

A partir da intensidade em P&D total podemos mensurar o multiplicador tecnológico (ou multiplicador de P&D), mt_j , do setor j como:

$$mt_j = \frac{s_j^x}{r_j^d} \quad (13)$$

A seguir, a seção 4 aborda a P&D direta e a seção 5 a P&D indireta e o multiplicador tecnológico.

4 Pesquisa e Desenvolvimento realizada pelos setores de atividade

A partir de uma pesquisa histórica, [Suzigan e Albuquerque \(2011\)](#) colocaram em evidência o papel desempenhado pelas universidades e institutos de pesquisa na acumulação de competências tecnológicas dos setores mais competitivos da economia brasileira, como agricultura, metalurgia e aviação. Esta seção apresenta evidências empíricas de que os institutos públicos de pesquisa – e o marco regulatório, em alguns casos – são relevantes para o desenvolvimento tecnológico de diversos setores da economia brasileira, competitivos ou não.

Em 2013, os investimentos em P&D realizados pela economia brasileira foram de R\$63,5 bilhões em valores de 2017, que corresponderam a 1,08% do PIB do Brasil¹⁰. Esse montante está distribuído na Figura 1 pelos setores de atividade em que a P&D foi realizada. Ressalta-se que essa distribuição já considera a alocação da P&D dos institutos públicos de pesquisa com finalidade setorial definida nos respectivos setores de atividade, conforme a alocação exibida no [Apêndice A](#).

No Brasil, 42,5% dos investimentos em P&D foram realizados pelos serviços públicos, sendo distribuídos em educação pública (31,5%), administração pública (7,7%), e saúde pública (3,4%) (Figura 1).

Na educação pública, consideram-se como investimentos em P&D os salários e demais remunerações dos professores atuantes nos programas de pós-graduação *stricto sensu* reconhecidos pela Capes e as despesas de custeio das universidades, inclusive bolsas de pesquisa dos alunos ([MCTI, 2009](#)). Embora as atividades dos professores de pós-graduação incluam ensino, pesquisas com ou sem finalidade comercial e atividades de treinamento, todas elas são consideradas P&D. Vale dizer que a forma de contabilizar a P&D do setor de educação é uma prática mundial pautada no Manual Frascati ([OECD, 2015](#)) e o Brasil a segue.

A administração pública reúne vários institutos públicos de pesquisa com finalidades múltiplas (transversal ou multisetorial) como o IPT, o Inpe, o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e o Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar). Dada a dificuldade na identificação da finalidade setorial da pesquisa feita, a P&D desses institutos e de alguns outros foi mantida no setor da administração pública. Já naqueles em que há clara destinação setorial, como a Embrapa, seus dispêndios foram alocados nos setores respectivos (neste caso, nos setores da agropecuária – conforme o [Apêndice A](#)).

No setor de saúde pública sobressai a P&D realizada pela Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), que desembolsou aproximadamente R\$1,4 bilhão (valores de 2017) em pesquisas. Os Institutos Butantan, Vital Brazil, Adolfo Lutz e Pasteur são outras importantes instituições que fazem P&D na área da saúde pública. Essas entidades produzem conhecimentos – principalmente nos temas relacionados à saúde coletiva de um país tropical não desenvolvido – em doenças como Aids, Chagas, tuberculose, esquistossomose, malária, hanseníase, sarampo, rubéola, meningites, hepatites e vacinas, soros e patógenos de grande interesse social.

¹⁰No mesmo ano, nos países desenvolvidos, os gastos em P&D sobre o PIB variou entre 2% e 4% – por exemplo, 2,71% nos EUA, 2,84% na Alemanha, 3,31% no Japão e 3,95% na Coreia do Sul de acordo com dados da UNESCO.

Figura 1: Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento do Brasil

Fonte: IBGE (2015b) e Lei de Acesso à Informação. Cálculos e elaboração dos autores.

Nota: Dados de 2013.

Depois dos serviços públicos, a indústria de transformação é o agrupamento setorial que mais faz pesquisa, com 32,4% da P&D total do país (Figura 1). Neste estudo dividimos a indústria de transformação em dois grupos por intensidade tecnológica: i) *indústria de maior intensidade tecnológica* e ii) *indústria de menor intensidade tecnológica*. O primeiro inclui os setores de alta e média-alta intensidade em P&D da nova classificação da OCDE e o segundo inclui os setores de média e média-baixa intensidade em P&D da mesma classificação (GALINDO-RUEDA; VERGER, 2016; MORCEIRO, 2019). A escolha de somente duas categorias tecnológicas ao invés de quatro deu-se porque, no Brasil, há menor variabilidade (dispersão setorial) ou maior homogeneidade da intensidade em P&D (P&D/produção ou P&D/valor adicionado) entre os setores da indústria brasileira do que nos países da OCDE (FURTADO; CARVALHO, 2005). A *indústria de maior intensidade tecnológica* realiza quase 80% da P&D manufatureira, apesar de representar apenas 1/3 do PIB manufatureiro. Apenas cinco setores do grupo de maior intensidade tecnológica realizaram mais de 50% da P&D manufatureira, a saber: automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças (com 5,40% da P&D total do Brasil); equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos (3,67%); químicos orgânicos, inorgânicos, resinas e elastômeros (2,98%); outros equipamentos de transporte (2,60%); e farmacêuticos e medicamentos (2,37%) (Figura 1).

Todos os dez setores industriais de maior intensidade tecnológica investiram em P&D mais que qualquer um daqueles 20 pertencentes à indústria de menor intensidade tecnológica (Figura 1), evidenciando que os recursos para P&D são investidos de modo desigual e concentrado setorialmente. Essa não é uma característica só do Brasil, é um padrão verificado em outros países. Em geral, poucos setores fazem a maior parte da P&D e são os maiores responsáveis pela mudança tecnológica (DOSI; PAVITT; SOETE, 1990; JARUZELSKI; STAACK; CHWALIK, 2017; PAPAConstantinou; Sakurai; Wyckoff, 1998). O principal motivo deve-se ao fato de as oportunidades tecnológicas e o potencial inovativo serem muito mais elevados nesses setores, conforme apontado por Breschi e

Malerba (1997) e Castellacci (2008).

O terceiro agrupamento que mais realizou P&D foram os serviços privados, com 11,2% da P&D total do Brasil (Figura 1). Apesar de formarem mais de 50% do PIB brasileiro, apenas um número limitado de setores desse grupo faz P&D de modo contínuo e significativo, revelando que dentro dos serviços também há bastante heterogeneidade e concentração da P&D. Somente quatro setores investiram mais de 80% de toda a P&D dos serviços privados, a saber: arquitetura, engenharia, análises técnicas e P&D (com 3,93% da P&D total do Brasil); desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação (2,06%); educação privada (2,05%); e telecomunicações (1,35%). O primeiro setor mencionado contém a divisão 72 da CNAE 2.0 denominada “Pesquisa e Desenvolvimento Científico”, a qual inclui os laboratórios das empresas que possuem centros de P&D independentes de sua atividade principal¹¹ e os institutos privados de pesquisa¹². Dessa maneira, a divisão 72 inclui laboratórios de P&D dos mais variados setores de atividade, de serviços ou não. Certamente, a pesquisa realizada pelo laboratório de P&D tem finalidade relacionada ao setor de atuação da empresa, mas o IBGE não faz esse tratamento dos dados. Por isso, deve-se ter cuidado ao interpretar as informações desse primeiro setor. O segundo setor, desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação, engloba a fabricação de *softwares*, que é o principal segmento dos serviços privados em montante de P&D investido (JARUZELSKI; STAACK; SHINOZAKI, 2016) ou em intensidade em P&D (GALINDO-RUEDA; VERGER, 2016). Embora seja dominado por gigantes, como Alphabet, Microsoft, Oracle e SAP, o Brasil possui uma empresa entre os 100 maiores gastos empresariais em P&D do setor de *softwares*: a TOTVS¹³.

No restante, a maioria dos setores de serviços privados, como comércio e reparação de veículos e motocicletas, restaurantes, hotéis, serviços jurídicos, serviços domésticos, serviços pessoais, segurança privada, entre outros, não fazem P&D de modo sistemático ou não foram localizados investimentos em P&D nas fontes consultadas pelo IBGE. É uma característica estrutural de grande parte dos setores de serviços registrar pouco investimento em P&D (EVANGELISTA, 2000; GALINDO-RUEDA; VERGER, 2016; HIPPE; GRUPP, 2005), uma vez que eles dependem menos dos laboratórios de pesquisa comparativamente à manufatura para manterem-se competitivos. Em geral, na maioria dos serviços outras atividades são mais importantes que a P&D, como a implementação de novas técnicas de gestão, novas estratégias de *marketing*, treinamento, mudanças na organização do trabalho e aquisição de máquinas e *softwares*. Também cabe registrar que há um predomínio de firmas pequenas e muita atividade informal em segmentos relevantes – por exemplo, comércio, transportes, contabilidade e serviços pessoais –, especialmente nos países em desenvolvimento. Por isso, a atividade de P&D é ainda escassa.

¹¹Exceto o Cenpes que foi alocado nos setores de atuação da Petrobras, conforme informado na metodologia deste estudo.

¹²A divisão 72 é bastante pulverizada com mais de mil empresas que fazem pesquisas classificadas nesse setor. Alguns exemplos: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Natura Inovação e Tecnologia de Produtos, Quintiles Brasil, Cencoderma Instituição de Pesquisa e Desenvolvimento de Cosméticos, Parexcel Internacional Pesquisas Clínicas, RPS do Brasil Serviços de Pesquisa e Icon Pesquisas Clínicas.

¹³Em 2013, a TOTVS investiu aproximadamente 12,3% das receitas totais em P&D, percentual que representou cerca de R\$ 115 milhões, conforme a base de dados de Jaruzelski, Staack e Shinozaki (2016).

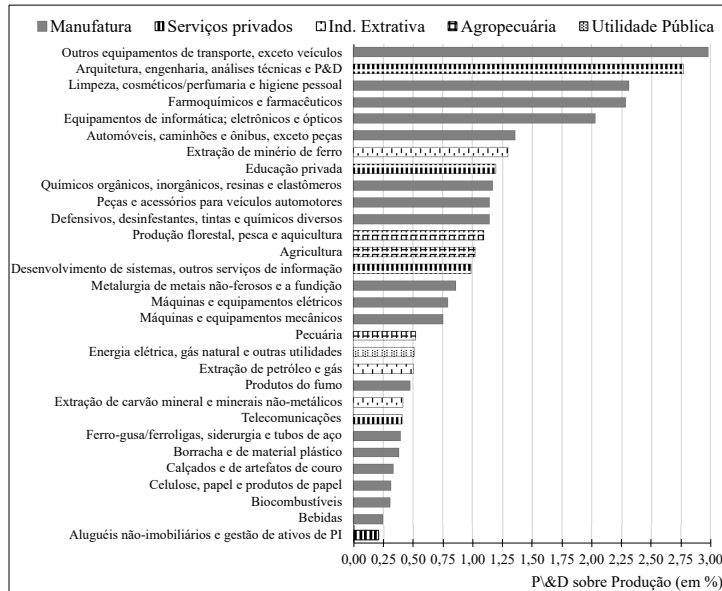
A agropecuária é o quarto agrupamento que mais fez P&D no Brasil, com 7,4% dos dispêndios totais (Figura 1). Os agricultores não realizam pesquisa sobre a semente que utilizarão. Na verdade, eles optam por adquiri-la de empresas privadas especializadas (como a Monsanto ou Syngenta) e de IPP. Isso ocorre pela impossibilidade de restringir o acesso a semente por parte dos concorrentes, dado que outro agricultor pode facilmente coletar uma muda e replantá-la, sem contribuir com os custos de seu desenvolvimento. Dessa forma, a agropecuária brasileira beneficia-se da P&D realizada pelos IPP, principalmente Embrapa e institutos estaduais de pesquisa (Ver [Apêndice A](#)). A Embrapa é a principal instituição que faz P&D no Brasil, com investimentos da ordem de R\$3,3 bilhões de 2017 e conta com um grupo de pesquisadores permanentes (em 2013, totalizavam 2437, dos quais 85% são doutores). O foco da pesquisa dos institutos públicos concentra-se maciçamente na área agrícola, mas parcela razoável é empregada na pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura, conforme exibido na Figura 1. Na área agrícola, o esforço de pesquisa mantém o país altamente competitivo internacionalmente, por exemplo, ao ampliar a área plantada para regiões que já foram consideradas inapropriadas para produção agrícola (como o Cerrado), adaptar sementes a climas hostis e aumentar a produtividade por hectare plantado.

A indústria extrativa é o quinto agrupamento, com 4,3% dos investimentos em P&D do país. Duas áreas se destacam. Primeiro, a P&D realizada pelo setor de exploração de petróleo e gás natural, para viabilizar as operações a grandes profundidades no litoral brasileiro feita pela Petrobras. É importante ressaltar que há uma regulação da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) que determina que empresas de extração e produção de petróleo e gás natural invistam 1,0% da receita bruta em atividades de P&D. Segundo, a P&D realizada pela empresa Vale e pelos institutos públicos, especialmente a CPRM e o Centro de Tecnologia Mineral (Cetem). Desse modo, direta e indiretamente, o Estado estimula a pesquisa na indústria extrativa.

Finalmente, o setor de energia elétrica realizou 1,9% da P&D do país. Nesse setor, o Estado também tem um papel ativo por meio de pesquisas conduzidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnem) e via regulação do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que determina que empresas de geração e distribuição de energia destinem 1,0% da receita operacional líquida para esse programa, sendo 0,2% a 0,4% do total destinados inteiramente às atividades de P&D.

Outra forma de verificar o *esforço tecnológico setorial* é pela intensidade em P&D (P&D/produção), conforme apontaram [Hatzichronoglou \(1997\)](#) e [OECD \(2003, p. 157\)](#). Elevadas intensidades em P&D criam maiores oportunidades tecnológicas e ampliam a probabilidade de se descobrir e desenvolver produtos novos. A demanda de produtos inovadores e intensivos em P&D cresce mais rápido, inclusive no comércio internacional ([LALL, 2000](#)), e amplia a parcela de mercado das firmas inovadoras. A Figura 2 exibe os 30 setores da economia brasileira com os maiores esforços em P&D relativos à produção setorial, excluídos os serviços públicos. O [Apêndice B](#) exibe as mesmas informações para todos os 68 setores do estudo. Nota-se que, entre os líderes setoriais, a manufatura predomina em número de setores e maiores esforços em P&D. Dos 30 setores 18 são da manufatura e 4 estão posicionados entre os cinco primeiros.

Figura 2: Esforço tecnológico do Brasil: P&D dividido pela produção setorial, em %



Fonte: IBGE (2015b) e Lei de Acesso à Informação. Cálculos e elaboração dos autores.

Nota: Dados de 2013. Todos os setores, exceto serviços públicos (administração, educação e saúde pública).

Os *outros equipamentos de transportes* possuem a maior intensidade em P&D setorial, com aproximadamente 3,0% do valor da produção investidos em P&D. Esse setor reúne a produção de aviões, satélites, embarcações navais, motocicletas, veículos ferroviários e veículos militares de combate. No Brasil, as áreas da aviação, espacial e marinha possuem destaque nos investimentos em P&D. Entre os principais centros de pesquisa destacam-se a P&D realizada pela Embraer, pelo Departamento de Ciência e Tecnologia Espacial (DCTA), pela Agência Espacial Brasileira (AEB) e pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), que está envolvido no desenvolvimento do primeiro submarino de propulsão nuclear brasileiro¹⁴.

Entre os demais setores manufatureiros, lideram a lista produtos químicos; farmacêutica; informática e eletrônicos; e a automobilística, que também possuem média-alta e alta intensidade em P&D em outros países (OECD, 2003, p. 157). Nos países líderes, os setores farmacêutico e de informática e eletrônicos lideram a classificação, mas no Brasil eles são muito dependentes de tecnologia importada embarcada nos insumos e componentes (MORCEIRO; GUILHOTO, 2020), conforme será visto na próxima seção.

Note que a maioria dos setores no Brasil – manufatureiros ou não – possuem intensidade em P&D bem inferior que a verificada nos países da OCDE, por isso estão distantes da fronteira tecnológica (MORCEIRO, 2019). Em geral, quanto maior a intensidade tecnológica do setor, menor o esforço tecnológico do Brasil comparativamente aos países da OCDE – seja entre os setores de média-alta e alta tecnologia da manufatura (FURTADO; CARVALHO, 2005; MOR-

¹⁴Todos os centros mencionados investiram mais de R\$ 100 milhões em P&D, em 2013.

CEIRO, 2019) ou dos serviços (MORCEIRO, 2019).

Um dos motivos da baixa intensidade em P&D da indústria de transformação brasileira deriva dos setores de maior intensidade tecnológica, os quais realizam pouca P&D (FURTADO; CARVALHO, 2005; ZUCOLOTO; TONETO JÚNIOR, 2005). Ademais, os setores industriais de maior intensidade tecnológica têm um peso inferior na produção industrial brasileira comparativamente às economias da OCDE (ZUCOLOTO; TONETO JÚNIOR, 2005). Além disso, “[a] origem estrangeira do capital atua (...) no sentido de reduzir o esforço tecnológico local” (ZUCOLOTO; TONETO JÚNIOR, 2005, p. 80) comparativamente a atuação dessas empresas nos países-sede, conforme mostrou Tessarin, Suzigan e Guilhoto (2020, p. 680) para as multinacionais estadunidenses. Isso ocorre porque a atividade inovativa das filiais de multinacionais no Brasil é majoritariamente do tipo adaptativa, sendo fortemente baseadas na adaptação de tecnologias provenientes de outra empresa do grupo localizada no exterior (TESSARIN; SUZIGAN; GUILHOTO, 2020)¹⁵.

Os serviços de *arquitetura, engenharia, análises técnicas* e P&D ocupam o segundo lugar em investimento em P&D, com aproximadamente 2,75% do valor da produção aplicados em P&D. Como mencionado anteriormente, todos os departamentos de P&D identificados com CNPJ próprio são classificados nesse setor nas estatísticas das Contas Nacionais, independente da finalidade da pesquisa. Por isso, o esforço de P&D é elevado, porém, cabe destacar que a maioria desses investimentos não está relacionada, necessariamente, com a descrição do setor *arquitetura, engenharia, análises técnicas e P&D*.

Cabe destacar que alguns setores tradicionais, como a extração de minérios de ferro e a agricultura, investiram em P&D ligeiramente acima de 1,0% do valor da produção. E a pecuária e a extração de petróleo e gás investiram 0,5%, próximo à média da economia total. Como mencionado, nesses setores se sobressai a P&D realizada por IPP e por grandes empresas criadas pelo Estado como a Petrobras e a Vale, contribuindo para manter o Brasil como um dos líderes globais na produção agropecuária e na indústria extrativa.

Chama atenção na Figura 1 que a agricultura e a mineração têm intensidade em P&D mais elevada que os serviços de informação. Isso é um paradoxo pois a mineração e a agricultura são consideradas atividades tradicionais que antecedem a 1ª Revolução Industrial enquanto os serviços de informação nucleiam o progresso técnico no atual paradigma técnico-econômico chamado Indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial. Isso coloca em perspectiva a hipótese de que se pode alavancar o desenvolvimento tecnológico a partir da especialização em recursos naturais e por trajetórias convencionais de industrialização (PÉREZ, 2010; MORCEIRO *et al.*, 2011; FURTADO; URIAS, 2013).

Por fim, entre os 68 setores das contas nacionais, 25 são serviços privados, mas apenas um quinto deles encontra-se exibido na Figura 2. A maioria dos serviços privados tem intensidade em P&D muito baixa (Apêndice B). As poucas exceções são a própria atividade de P&D comentada acima, educação privada e desenvolvimento e outros serviços de informação, os quais possuem investimentos em P&D sobre a produção superior à média da economia brasileira, de 0,54%.

¹⁵No entanto, estudo recente mostra “(...) que não há uma diferença significativa nos esforços inovativos das empresas considerando a origem do capital, independentemente da categoria de intensidade tecnológica. No entanto, a diferença é substantiva entre as empresas que cooperaram para inovar frente às que não cooperaram.” (TESSARIN; SUZIGAN; GUILHOTO, 2020, p. 701).

5 P&D incorporada na cadeia produtiva setorial e nos bens de investimento

A seção anterior exibiu a P&D *direta* realizada pelos setores e esta identifica a P&D *indireta* que está incorporada nos insumos intermediários e nos bens de investimentos adquiridos pelos setores produtivos, que são uma forma importante de aquisição de conhecimento pelos setores *usuários* de tecnologias (PAPACONSTANTINOU; SAKURAI; WYCKOFF, 1998; PAVITT, 1984; ROSENBERG, 1982). Para Schmookler (1966, p. 175, tradução nossa) “a melhor maneira de melhorar a tecnologia de uma indústria é, muitas vezes, melhorar os insumos que ela compra de outras indústrias”. Aghion e Howitt (1992) e Grossman e Helpman (1991) modelaram o progresso tecnológico pela introdução de inovações que melhoram a qualidade dos bens de capitais, os quais serão adquiridos para produzir bens finais. Além de expandir a capacidade produtiva, máquinas e equipamentos de última geração também aumentam a produtividade.

O “uso de tecnologias incorporadas é uma característica tanto de firmas de média-alta e alta tecnologia como também de firmas de média-baixa e baixa tecnologia” (ROBERTSON; SMITH; VON TUNZELMANN, 2009, p. 445, tradução nossa). Assim, tanto o setor aeronáutico depende de tecnologia embarcada nos equipamentos eletrônicos quanto o setor têxtil depende das fibras químicas para produzir produtos melhores. O “(...) progresso tecnológico em um setor da economia tornou-se crescentemente dependente da mudança tecnológica em outros setores.” (ROSENBERG, 1982, p. 73, tradução nossa). Apesar de antiga, a passagem de Rosenberg tornou-se ainda mais importante na atualidade com a crescente fragmentação internacional da produção organizada em cadeias globais de valor.

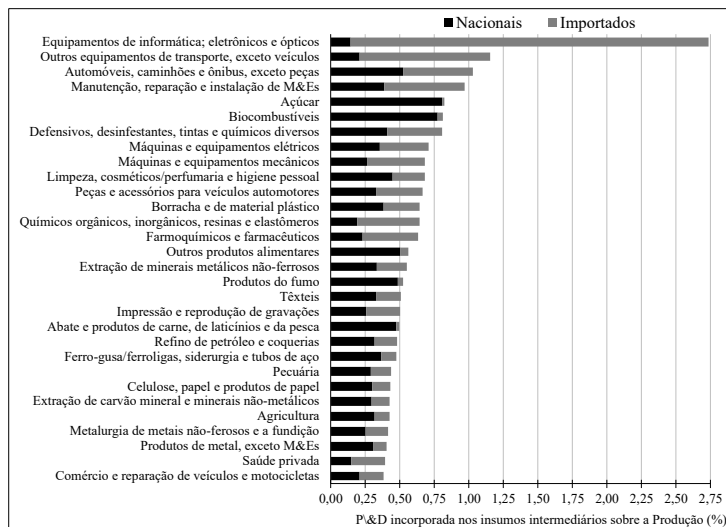
Esta pesquisa rastreou os fluxos de P&D ao levantar a intensidade em P&D (P&D/produção) do setor produtor dos insumos intermediários e dos bens de capital e multiplicá-la pelo valor da produção destinada os setores usuários. Desse modo, este trabalho adota as interdependências setoriais das matrizes de insumo-produto e de investimento para captar as interdependências tecnológicas, conforme procedimentos metodológicos descritos na seção 3.4.

Por exemplo, a indústria aeronáutica investe diretamente montante elevado em P&D, mas também a consome bastante indiretamente a partir dos produtos dos fornecedores de componentes (turbinas, motores e componentes eletrônicos) dos aviões. O método proposto por este trabalho rastreia essa P&D indireta incorporada. Se o setor de informática investiu em P&D 2,0% do seu valor da produção, cada produto fabricado incorporou uma parte dessa P&D proporcional ao seu peso no valor da produção. Assim, quando o setor aeronáutico compra 5% da produção de informática, ele adquire insumos intermediários que incorporaram 0,10% da P&D realizada pelo setor de informática¹⁶. Ao final, um avião possui tecnologia incorporada fruto da P&D direta da indústria aeronáutica e indireta contida na sua cadeia produtiva.

Na economia brasileira, a P&D indireta correspondeu a 0,34% do valor da produção (Tabela 1 adiante). A Figura 3 exhibe os 30 setores que têm maior P&D indireta incorporada em suas cadeias produtivas (consulte o Apêndice B para acessar as informações dos 68 setores do estudo). A maioria dos setores da Figura 3 faz parte da manufatura ou produz bens físicos. Apenas os dois

¹⁶Note que 0,10% foram obtidos pela multiplicação de 2% (intensidade em P&D do setor de informática) por 5% (produção de informática adquirida pelo setor aeronáutico).

Figura 3: Percentual da P&D incorporada na cadeia produtiva setorial



Fonte: IBGE (2015a), Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010), Galindo-Rueda e Verger (2016) e BEA (2016), e Lei de Acesso à Informação. Cálculos e elaboração dos autores.

Nota: Dados de 2013.

últimos setores são de serviços. Isso é esperado porque os setores manufatureiros possuem cadeias de produção mais longas e mais etapas de transformação produtiva, sobretudo em relação aos serviços. Exemplos disso são os três primeiros da Figura 3, que fabricam produtos (computadores, aviões e automóveis) compostos de centenas a milhares de insumos e componentes. Da mesma forma que eles possuem maiores multiplicadores de produção, suas cadeias produtivas carregam mais P&D incorporada nos insumos intermediários.

Segundo ponto relevante é que todos os dez setores manufatureiros de maior intensidade tecnológica estão na metade superior da Figura 3. Além de fazer mais P&D diretamente, eles também demandam insumos e componentes proporcionalmente mais intensivos em P&D que a maioria dos setores de menor intensidade tecnológica. Observa-se também que a P&D incorporada nos insumos intermediários importados é mais elevada para os setores de maior intensidade tecnológica do que nos setores menos intensivos. Isso confirma a dependência estrutural do Brasil por produtos mais tecnológicos no comércio internacional, conforme estudos sobre o comércio exterior brasileiro (DE NEGRI, 2005; MORCEIRO; GUILHOTO, 2020).

Terceiro, outro fato relevante é a notável presença de cinco setores manufatureiros de menor intensidade tecnológica na metade superior da Figura 3. Nesses setores, com exceção da manutenção de máquinas e equipamentos (M&Es), a P&D indireta de origem nacional é mais relevante que a P&D embutida nos insumos importados, pois a indústria de menor intensidade tecnológica é ainda muito adensada no Brasil conforme mostraram Morceiro e Guilhoto (2020).

Quarto, a P&D da cadeia produtiva do setor de informática, eletrônicos e ópticos destaca-se bastante em relação aos demais setores ao somar 2,73%

do valor da produção desse setor (Figura 3). Esse é o único setor manufatureiro de maior intensidade tecnológica em que a P&D da cadeia produtiva foi mais relevante que a P&D realizada internamente. Ademais, da P&D embarcada nos insumos intermediários, 95% são de origem estrangeira e apenas 5% nacional (Figura 3). Isso explica-se porque i) o Brasil faz pouca P&D comparativamente ao realizado nesse setor pelos países líderes; ii) o setor importa parcela substantiva dos insumos intermediários, sobretudo componentes tecnológicos (MORCEIRO, 2018; MORCEIRO; GUILHOTO, 2020); e iii) esses componentes importados provêm majoritariamente do setor de informática e eletrônica, um dos que mais investem em P&D do planeta, que possui intensidade em P&D de 11,36% do valor da produção estrangeira¹⁷. O mesmo acontece, porém em menor magnitude, com o setor outros equipamentos de transporte que importam parcela expressiva dos componentes tecnológicos, principalmente turbinas e demais componentes dos aviões, os quais possuem elevada P&D embarcada.

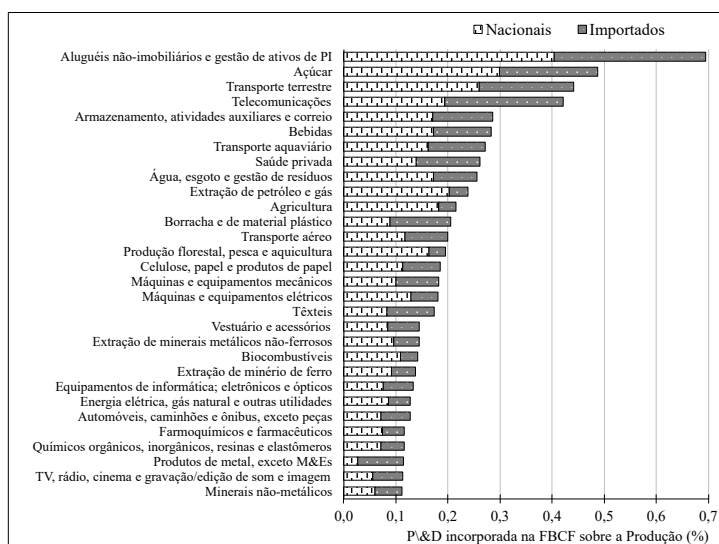
Quinto, em muitos setores, a P&D incorporada na cadeia produtiva é mais relevante que a própria P&D realizada internamente. Em 19 dos vinte 20 setores manufatureiros de menor intensidade tecnológica, a P&D da cadeia produtiva foi maior que a realizada internamente, assim como em 19 dos 25 setores de serviços privados¹⁸. Do ponto de vista da atividade inovativa, esses setores são conhecidos como *dominados pelos fornecedores* pela tipologia de Pavitt (1984) e Castellacci (2008). Os setores dominados pelos fornecedores fazem pouca P&D interna e o progresso tecnológico relevante vem de fora, pois esses setores buscam reduzir custos produtivos por meio da adoção de M&Es modernas que poupam mão de obra e de insumos intermediários mais eficientes (DOSI; PAVITT; SOETE, 1990, cap. 4).

A seguir, a Figura 4 mostra a P&D embarcada nos investimentos fixos, que são constituídos majoritariamente por M&Es e pela construção civil. O primeiro componente possui intensidade em P&D média-alta, enquanto o segundo praticamente não faz P&D. A aquisição de máquinas e equipamentos é a principal atividade inovativa da indústria de transformação brasileira (TESSARIN, 2018). Para contornar a instabilidade do investimento foi considerada a FBCF média do quadriênio 2010-2013. Para toda a economia brasileira, a P&D incorporada nos investimentos fixos representou apenas 0,12% da sua produção (Tabela 1 adiante), percentual que corresponde apenas a um terço da P&D incorporada nos insumos intermediários. Vale ressaltar que não foi considerado todo o estoque de capital, apenas o fluxo de FBCF médio de 2010-2013. Se fosse considerado todo o estoque de capital, provavelmente a P&D incorporada seria maior que a dos insumos intermediários. Nota-se um perfil setorial mais diversificado na Figura 4. Dos 15 setores com maior P&D incorporada nos investimentos fixos, 7 são de serviços, 4 da manufatura, 2 da agropecuária, 1 da indústria extrativa e 1 da utilidade pública.

Apesar de a indústria de transformação contribuir atualmente menos para a FBCF que no período de industrialização pesada (décadas de 1950 a 1980), ela ainda tem relevância significativa na P&D embarcada nos bens de capital,

¹⁷Informática e eletrônica é o setor que mais investe em P&D entre os mil maiores gastos empresariais em P&D do planeta, com 23,1% do total investido, em 2017 (JARUZELSKI; STAACK; CHWALIK, 2017). Nos Estados Unidos, nação que mais investe em P&D do mundo, esse setor realizou 21,0% de toda a P&D empresarial do país em média no período de 2010 a 2015 (OECD, 2017).

¹⁸Dados não exibidos neste estudo devido à limitação de espaço. Para mais detalhes, ver estudo mencionado na nota 4 em que constam os dados de todos 68 setores da economia.

Figura 4: Percentual da P&D incorporada na FBCF setorial

Fonte: IBGE (2015a), Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010), Miguez (2016), Galindo-Rueda e Verger (2016) e BEA (2016), e Lei de Acesso à Informação. Cálculos e elaboração dos autores.
Nota: Média 2010-2013.

haja vista que 16 dos 30 setores da Figura 4 são fabricantes. Apesar do processo de desindustrialização que ocorre desde a década de 1980 no Brasil (MORCEIRO; GUILHOTO, 2019), a manufatura ainda detém percentual ligeiramente acima de um quarto do estoque de capital total do país¹⁹, desde 2008 até 2014 (GOUMA *et al.*, 2018; TIMMER *et al.*, 2016), o qual precisa ser constantemente atualizado para evitar a obsolescência dos equipamentos (via reposição do capital depreciado).

Ademais, na maioria dos setores a P&D nacional é mais relevante que a importada como forma de adquirir tecnologia embarcada nos bens de capital (Figura 4). Entretanto, em alguns deles, a P&D importada é um complemento relevante ou até mais importante que a nacional porque o Brasil não possui competitividade para produzir os bens de capital em todos os segmentos produtivos.

Unindo todos os indicadores citados até o momento é possível estabelecer o *multiplicador tecnológico* calculado utilizando a P&D total (direta e indireta) incorporada na produção de um setor dividido pela P&D conduzida diretamente pelo setor – ou seja, a intensidade em P&D total dividida pela intensidade em P&D direta. “Ele indica o nível de ‘tecnologia’ total incorporada na produção que é obtida a partir de R\$ 1,0 gasto em P&D.” (PAPACONSTANTINOU; SAKURAI; WYCKOFF, 1996, p. 18, tradução nossa)²⁰.

O multiplicador tecnológico é semelhante aos multiplicadores de produção de Leontief, baseado no modelo *output-to-output* (MILLER; BLAIR, 2009, p.

¹⁹Excluído o setor atividades imobiliárias (divisão 68 da CNAE 2.0).

²⁰Dietzenbacher e Los (2002) chamaram de “multiplicador de P&D para trás” ao invés de multiplicador tecnológico e de “multiplicador de P&D para trás induzido” para se referir apenas à P&D indireta.

283), isto é, o quanto se gera de produção total²¹ a partir de uma unidade de produção adicional de um setor específico. No entanto, no contexto deste trabalho, o multiplicador tecnológico reflete a natureza público-privada da tecnologia conforme mencionado por Papaconstantinou, Sakurai e Wyckoff (1996, p.18, tradução nossa):

Está bem estabelecido que o conhecimento tem certas características típicas de bens públicos. É primeiro parcialmente excludente: é difícil para as empresas que fazem P&D se apropriarem plenamente dos benefícios econômicos por excluir outras empresas do seu uso. Também é não-rival: novas tecnologias podem ser usadas muitas vezes e em muitos processos diferentes sem ser exauridas.

A Tabela 1 exibe a intensidade em P&D total fragmentada em seus cinco componentes e o multiplicador tecnológico para os principais agrupamentos setoriais e o Apêndice B exibe as mesmas informações para os 68 setores do estudo. Para toda a economia, o multiplicador tecnológico foi de 1,9 (Tabela 1). Dessa maneira, a intensidade em P&D direta é quase a metade da intensidade em P&D total. A literatura consultada também encontrou multiplicadores tecnológicos próximos de dois (HAUKNES; KNELL, 2009), principalmente para países grandes (PAPACONSTANTINO; SAKURAI; WYCKOFF, 1996, p. 16). Variações no tamanho do multiplicador refletem diferenças na estrutura industrial e no modo que cada setor cria e usa tecnologia. Setores produtivos que desenvolvem mais tecnologia internamente têm multiplicador próximo de 1,0, já aqueles que usam mais tecnologias de outros setores têm multiplicador mais elevado (acima de 2). Dessa maneira, o “[...] multiplicador tecnológico revela quais indústrias são produtoras de tecnologia e quais são usuárias de tecnologia” (HAUKNES; KNELL, 2009, p. 464).

Os serviços públicos são quase um produtor puro de tecnologia ao dependerem praticamente da atividade de P&D interna.

A maioria dos setores manufatureiros de maior intensidade tecnológica possui multiplicadores tecnológicos inferiores a 2,0 por serem os principais produtores de tecnologia na manufatura, porém alguns setores apresentam multiplicadores superior a 2,0 (Apêndice B). Hauknes e Knell (2009) também encontrou multiplicadores inferiores a 2 para os países desenvolvidos e próximo de 1,5 na Alemanha. Nesse país a indústria é mais inovativa, voltada para o mercado internacional e opera mais próxima da fronteira tecnológica, sendo relativamente menos dependente de tecnologia embarcada nos produtos. No Brasil, a indústria mais tecnológica é voltada para o mercado interno e depende mais da adaptação de tecnologias trazidas do exterior que da criação (TESSARIN, 2018; TESSARIN; SUZIGAN; GUILHOTO, 2020), por isso ela tem o maior percentual de P&D indireta (Tabela 1 e Tabela 2) embarcada na produção de origem majoritariamente estrangeira (Tabela 2).

Quase todos os setores manufatureiros de menor intensidade tecnológica e os serviços privados tradicionais possuem multiplicadores tecnológicos elevados (ver Tabela 1 e Apêndice B) – como nos países desenvolvidos (HAUKNES; KNELL, 2009; PAVITT, 1984) e nos países em desenvolvimento estudados por Gonçalves e Neto (2016) –, sendo por isso grandes usuários de tecnologias

²¹Isto é, no produtor final, nos fornecedores de primeira ordem e nos fornecedores de ordem superior.

Tabela 1: Multiplicador tecnológico por grupo de atividade do Brasil

Grupos de atividades econômicas	P&D sobre a Produção (em %)					Total	Multiplicador Tecnológico
	Direta (próprio setor)	Indireta dos insumos nacionais	Indireta dos insumos importados	Indireto da FBCF nacional	Indireto da FBCF importada		
Agropecuária	0,89	0,29	0,11	0,15	0,03	1,47	1,7
Indústria extrativa	0,69	0,13	0,10	0,16	0,04	1,12	1,6
Indústria de transformação	0,60	0,36	0,31	0,07	0,06	1,40	2,3
- De menor intensidade tecnológica	0,20	0,38	0,12	0,07	0,06	0,82	4,2
- De maior intensidade tecnológica	1,39	0,32	0,66	0,07	0,06	2,51	1,8
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,40	0,17	0,08	0,11	0,05	0,80	2,0
Construção	0,02	0,22	0,09	0,05	0,04	0,41	25,9
Serviços	0,54	0,12	0,06	0,05	0,05	0,82	1,5
- Serviços privados	0,14	0,12	0,06	0,06	0,05	0,43	3,1
- Serviços públicos	2,02	0,10	0,06	0,03	0,04	2,25	1,1
Economia total	0,54	0,20	0,14	0,07	0,05	0,99	1,9

Fonte: a mesma da Figura 4.

Nota: Dados de 2013; no caso da FBCF utilizou-se a média de 2010-2013.

Tabela 2: P&D indireta total do Brasil

Grupos de atividades econômicas	P&D indireta total sobre a Produção (%)	P&D indireta total (%)		P&D indireta total (%)	
		Insumos intermediários	Bens de capital	Nacional	Estrangeira
Agropecuária	0,59	69	31	76	24
Indústria extrativa	0,43	53	47	68	32
Indústria de transformação	0,79	84	16	54	46
- De menor intensidade tecnológica	0,63	80	20	71	29
- De maior intensidade tecnológica	1,11	88	12	36	64
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,40	61	39	68	32
Construção	0,40	78	22	68	32
Serviços	0,28	64	36	60	40
- Serviços privados	0,29	63	37	61	39
- Serviços públicos	0,23	68	32	59	41
Economia total	0,46	74	26	59	41

Fonte: a mesma da Figura 4.

produzidas por outros setores. Por esse motivo, a literatura os chama de *dominados pelos fornecedores* (CASTELLACCI, 2008; PAVITT, 1984) do ponto de vista inovativo, pois dependem de tecnologias incorporadas nos bens de investimento e nos insumos intermediários.

Chama atenção o fato de a agropecuária e a indústria extrativa não possuírem multiplicadores tecnológicos elevados como o verificado nos países desenvolvidos por Hauknes e Knell (2009). Geralmente, esses setores tradicionais são classificados como dominados pelos fornecedores de tecnologias (HAUKNES; KNELL, 2009; PAVITT, 1984), mas, no Brasil, a P&D interna não é tão baixa devido à presença direta do Estado via os institutos de pesquisa e indireta via marco regulatório, conforme abordado na seção 4.

Em resumo, a P&D indireta incorporada nas M&Es e nos insumos intermediários é uma forma relevante para adquirir tecnologia, tanto para os setores que fazem pouco esforço tecnológico internamente quanto para aqueles de alta tecnologia. Esse resultado está em linha com o artigo de Tessarin, Suzigan e Guilhoto (2020) que utilizaram uma tabulação especial da PINTEC e verificaram que os fornecedores de insumos e componentes são uma das principais fontes de inovação e a aquisição de máquinas e equipamentos a principal atividade inovativa da manufatura brasileira. Para toda a economia brasileira, a P&D indireta representou 0,46% da produção total (Tabela 2). A indústria de transformação possui relativamente mais P&D indireta incorporada na produção que os demais setores, enquanto os serviços possuem menos. Contribui para isso o fato de a manufatura ter cadeias produtivas longas e enquanto a dos serviços são mais curtas. No Brasil, os insumos intermediários são a principal fonte de aquisição de tecnologia externa para todos os agrupamentos setoriais da Tabela 2, chegando a representar três quartos da P&D indireta total, enquanto os bens de capital tiveram um peso relativamente menor, inclusive para o setor de serviços, em comparação com os países desenvolvidos estudados por Papaconstantinou, Sakurai e Wyckoff (1998) e Hauknes e Knell (2009). Certamente, a baixa taxa de investimento do Brasil contribui para esse resultado.

Quanto à origem da P&D indireta, aproximadamente 60% é nacional e 40% estrangeira. Apesar de o país importar os principais produtos tecnológicos (MORCEIRO; GUILHOTO, 2020), a maioria das compras setoriais provém de fornecedores nacionais de menor P&D incorporada, sobretudo porque a estrutura produtiva brasileira é concentrada em setores tradicionais que fazem relativamente pouca P&D (MORCEIRO, 2018; ZUCOLOTO; TONETO JÚNIOR, 2005). Apenas para manufatura de maior intensidade tecnológica, a P&D estrangeira é maior que a nacional. Nesse caso, o Brasil comporta-se como um país pequeno e é dependente de tecnologia externa, diferente do ocorrido nos países desenvolvidos grandes, conforme mencionado na revisão bibliográfica.

6 Considerações finais

A pesquisa e desenvolvimento (P&D) direta é uma das principais formas utilizadas, sobretudo nos países desenvolvidos, para promover o progresso tecnológico. A P&D indireta incorporada nos insumos intermediários e nos bens de capital é uma forma relevante de adquirir conhecimento tecnológico para elevar a produtividade, especialmente nos países em desenvolvimento.

Esta pesquisa desenvolveu uma metodologia a partir de três etapas para

captar a P&D pública e privada de todos os 68 setores das novas Contas Nacionais do Brasil. Para a primeira etapa foi criado um método para captar os investimentos em P&D realizados pelos 68 setores, o qual pode ser replicado para obter os investimentos em P&D setoriais à medida que as contas nacionais anuais forem divulgadas. A novidade metodológica da segunda etapa consistiu em identificar o volume de P&D realizado por institutos públicos de pesquisa a partir de solicitações de dados no âmbito da Lei de Acesso à Informação. A partir disso, foi adotada uma estratégia para alocar a P&D pública em seus respectivos setores de atividade de acordo com a finalidade setorial das pesquisas de cada instituto. Com isso encontrou-se que a P&D pública é muito significativa para o desenvolvimento tecnológico de vários setores de atividade e que o setor privado se beneficia dos resultados de pesquisas geradas em institutos públicos reconhecidos. A terceira etapa combinou dados das contas nacionais, das matrizes de insumo-produto e de absorção de investimento e do indicador de esforço tecnológico (P&D/produção) nacional e estrangeiro para obter a P&D indireta incorporada nos insumos intermediários e nos bens de investimento nacionais e importados para 68 setores. Para isso, foi utilizada uma metodologia consagrada internacionalmente de análise de insumo-produto.

Este estudo se diferencia dos precedentes em termos do tratamento dos dados a partir de diversas fontes de informação e pelo nível setorial detalhado, sendo que para vários setores produtivos as informações de P&D direta e indireta são inéditas para o Brasil. Verificou-se uma *grande heterogeneidade setorial* tanto na *produção* quanto no *uso* da P&D. Com isso, buscou-se oferecer uma visão mais detalhada da atividade de produção e uso de tecnologia no Brasil. A seguir, apresentam-se as demais conclusões.

Primeiro, o Estado brasileiro tem um papel muito importante nos investimentos em P&D direta e indiretamente. Diretamente investe percentual um pouco superior a 50% da P&D total do país. Apenas a educação pública investe quase um terço da P&D total com ações voltadas à pesquisa universitária e treinamento, e, embora essa P&D tenha menor aplicação comercial, ela sustenta a formação de recursos humanos qualificados para atuar no setor privado e desenvolver pesquisas em qualquer área. A pesquisa realizada por institutos públicos destaca-se principalmente nos setores agropecuário, mineração, aviação e espacial, naval, energia, informática, além do setor de saúde pública. Indiretamente, o Estado estimula a P&D com financiamentos reembolsáveis e subvenções, e por meio de regulações setoriais exigindo contrapartidas na forma de P&D no setor de extração de petróleo e gás natural, energia elétrica e informática e eletrônica. Além disso, o Estado possui representante no conselho administrativo de empresas de capital misto ou pela *golden share* em empresas relevantes no contexto da P&D nacional, como Petrobras, Vale e Embraer. Isso ajuda a entender as áreas em que o país é competitivo internacionalmente, especialmente nos setores baseados em recursos naturais (agropecuária, mineração e petróleo) e na produção de aviões.

Segundo, a P&D indireta incorporada nos insumos intermediários e nos bens de investimento é uma fonte de aquisição de tecnologia tanto para os setores que fazem pouca P&D (dominado pelos fornecedores) quanto para os que realizam muita P&D (baseados em ciência). Para os setores manufatureiros de menor intensidade tecnológica e para a maioria dos serviços privados, a P&D indireta foi mais relevante que a realizada diretamente. No caso dos setores manufatureiros de maior intensidade tecnológica, principalmente a

P&D indireta incorporada nos insumos e componentes tecnológicos importados foi muito relevante, em especial para o setor de informática, eletrônicos e ópticos. A dependência tecnológica do exterior, geralmente diagnosticada nos estudos de comércio exterior, também foi capturada aqui e evidenciada pela elevada importação de insumos e componentes intensivos em P&D.

Terceiro, a P&D indireta incorporada nos bens de investimento é baixa, inclusive no setor de serviços, que costuma depender mais dos bens de capital que dos insumos intermediários para adquirir conhecimento tecnológico. A baixa taxa de investimento brasileira contribui para esse resultado, somado ao fato de os setores nacionais produtores de bens de capital possuírem intensidade em P&D relativamente baixa se comparada à fronteira tecnológica.

Quarto, os setores de serviços privados fazem pouca P&D direta, com exceção de dois segmentos de serviços intensivos em conhecimento. Do ponto de vista de geração de tecnologia, a mudança estrutural da economia brasileira em direção ao setor de serviços é preocupante, haja vista que a manufatura é composta pelos setores que mais realizam P&D, mesmo quando considerada a manufatura tradicional (de baixa e média-baixa tecnologia).

Tendo em vista que a atividade de P&D é vital para o progresso tecnológico, as políticas públicas poderiam fomentar essa atividade no Brasil, conforme também destacaram [Ervilha, Vieira e Fernandes \(2019\)](#). Vale ressaltar que o fomento governamental a essa atividade é uma prática utilizada internacionalmente. Nesse sentido, além de estimular as atividades de P&D visando diminuir o hiato tecnológico do Brasil, também poderiam fortalecer os institutos públicos de pesquisa para manter e/ou melhorar o desempenho tecnológico nas áreas em que esses institutos atuam, o qual vai transbordar para o setor privado. Por um lado, o Estado também poderia atuar para criar capacidades locais em áreas em que o país tem elevada dependência tecnológica do exterior, por exemplo via encomendas tecnológicas, regulação setorial ou por políticas orientadas. Por outro, poderia firmar acordos bilaterais de comércio com países relevantes na sua pauta comercial com a finalidade de reduzir os custos de importações de insumos e bens de capital, pois conforme esse estudo mostrou a P&D indireta incorporada nos insumos importados é uma fonte significativa de absorção tecnológica.

Referências

- AGHION, Philippe; HOWITT, Peter. A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, v. 60, n. 2, p. 323–351, 1992.
- BRESCHI, S; MALERBA, F. Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. In: *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. Organização: Charles Edquist. Abingdon: Routledge, 1997.
- BUREAU OF ECONOMIC ANALYSIS — BEA. *U.S. input-output accounts: 1997-2015*. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, 2016.
- CASTELLACCI, Fulvio. Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation. *Research Policy*, v. 37, n. 6-7, p. 978–994, 2008.

- COHEN, Wesley M; LEVINTHAL, Daniel A. Innovation and learning: The two faces of R&D. *Economic Journal*, v. 99, n. 397, 1989.
- DE NEGRI, Fernanda. Conteúdo tecnológico do comércio exterior brasileiro: O papel das empresas estrangeiras. IPEA, Brasília, 2005.
- DE NEGRI, João Alberto; SALERNO, Mario Sergio (org.). *Inovações, padrões tecnológicos e desempenho das firmas industriais brasileiras*. Brasília: IPEA, 2005.
- DIETZENBACHER, Erik; LOS, Bart. Externalities of R&D expenditures. *Economic Systems Research*, v. 14, n. 4, p. 407–425, 2002.
- DOSI, Giovanni; PAVITT, Keith; SOETE, Luc. *The economics of technical change and international trade*. New York: New York University Press, 1990.
- ERVILHA, Gabriel Teixeira; VIEIRA, Wilson Da Cruz; FERNANDES, Elaine Aparecida. Determinantes da ecoinovação na indústria de transformação brasileira: uma análise empírica. *Economia Aplicada*, v. 23, n. 4, p. 145–174, 2019.
- EVANGELISTA, Rinaldo. Sectoral patterns of technological change in services. *Economics of Innovation and New Technology*, v. 9, n. 3, p. 183–222, 2000.
- FURTADO, André Tosi; CARVALHO, Ruy de Quadros. Padrões de intensidade tecnológica da indústria brasileira: um estudo comparativo com os países centrais. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 1, p. 70–84, 2005.
- FURTADO, João; URIAS, Eduardo. *Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira*. São Paulo: IBRAM, 2013.
- GALINDO-RUEDA, Fernando; VERGER, Fabien. OECD taxonomy of economic activities based on R&D intensity. *OECD*, Paris, 2016.
- GONÇALVES, Eduardo; FERREIRA NETO, Amir Borges. Intersectoral flows of technological knowledge in emerging countries: an input-output analysis. *Cepal Review*, v. 118, p. 139–155, 2016.
- GOUMA, Reitze *et al.* *WIOD socio-economic accounts 2016: sources and methods*. Groningen: WIOD, 2018.
- GROSSMAN, Gene M; HELPMAN, Elhanan. *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- GUILHOTO, Joaquim José Martins; SESSO FILHO, Umberto Antonio. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. *Economia Aplicada*, v. 9, n. 2, p. 277–299, 2005.
- GUILHOTO, Joaquim José Martins; SESSO FILHO, Umberto Antonio. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacio-

- nais: aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005. *Economia & Tecnologia*, v. 6, n. 4, p. 53–62, 2010.
- HATZICHRONOGLOU, Thomas. Revision of the high-technology sector and product classification. *OECD*, Paris, 1997.
- HAUKNES, Johan; KNELL, Mark. Embodied knowledge and sectoral linkages: an input–output approach to the interaction of high- and low-tech industries. *Research Policy*, v. 38, n. 3, p. 459–469, 2009.
- HIPP, Christiane; GRUPP, Hariolf. Innovation in the service sector: the demand for service-specific innovation measurement concepts and typologies. *Research Policy*, v. 34, n. 4, p. 517–535, 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE. *Nota metodológica no 16: pesquisa e desenvolvimento (versão para informação e comentários)*. Rio de Janeiro: Coordenação de Contas Nacionais, IBGE, 2015a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE. *Sistema de contas nacionais: Brasil: 2010-2013*. Rio de Janeiro: IBGE, 2015b.
- JARUZELSKI, Barry; STAACK, Volker; CHWALIK, Robert. The global innovation 1000: will stronger borders weaken innovation? *Strategy and Business*, v. 89, 16 p., 2017.
- JARUZELSKI, Barry; STAACK, Volker; SHINOZAKI, Aritomo. Global innovation 1000: software-as-a-catalyst. *Strategy and Business*, v. 85, 16 p., 2016.
- KER, Daniel; GALINDO-RUEDA, Fernando. Frascati manual R&D and the system of national accounts. *OECD*, Paris, 2017.
- LALL, Sanjaya. The technological structure and performance of developing country manufactured exports, 1985-98. *Oxford Development Studies*, v. 28, n. 3, p. 337–369, 2000.
- MIGUEZ, Thiago de Holanda Lima. *Evolução da formação bruta de capital fixo na economia brasileira 2000-2013: uma análise multissetorial a partir das matrizes de absorção de investimento (MAIs)*. 155 f. Tese (Doutorado em Economia da Indústria e da Tecnologia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- MILLER, Ronald E; BLAIR, Peter D. *Input-output analysis: foundations and extensions*. 2. ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA — MCTI. *Metodologia e critérios para levantamento dos investimentos nacionais em ciência e tecnologia (Relatório Técnico)*. Brasília: MCTI, 2009.
- MORCEIRO, Paulo César. *A indústria brasileira no limiar do século XXI: uma análise da sua evolução estrutural, comercial e tecnológica*. Tese (Doutorado em Economia das Instituições e do Desenvolvimento) – Faculdade de Eco-

- nomia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- MORCEIRO, Paulo César. Nova classificação de intensidade tecnológica da OCDE e a posição do Brasil. *Informações FINE*, n. 461, p. 8–13, fev. 2019.
- MORCEIRO, Paulo César *et al.* Por que não baixa tecnologia? *In: XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA*, 2011.
- MORCEIRO, Paulo César; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Adensamento produtivo e esgarçamento do tecido industrial brasileiro. *Economia e Sociedade*, v. 29, n. 3, p. 835–860, 2020.
- MORCEIRO, Paulo César; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Sectoral deindustrialization and long-run stagnation of Brazilian manufacturing. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 43, n. 2, p. 418–441, 2019.
- NOGUEIRA, Leilyanne Viana; ARRAES, Ronaldo Albuquerque. Função de produção de ideias e crescimento no Brasil e suas regiões. *Economia Aplicada*, v. 19, n. 4, p. 641–678, 2015.
- OECD. *Analytical business enterprise research and development database - ANBERD (ISIC Rev. 4)*. Paris: OECD-ANBERD DATABASE, 2017.
- OECD. *Frascati Manual 2015: guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development*. Paris: OECD Publishing, 2015.
- OECD. *OECD science, technology and industry scoreboard 2003*. Paris: OECD Publications, 2003.
- OECD. *Oslo manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data*. 3. ed. Paris: OECD Eurostat, 2005.
- PAPACONSTANTINO, G.; SAKURAI, N.; WYCKOFF, A. Domestic and international product-embodied R&D diffusion. *Research Policy*, v. 27, n. 3, p. 301–314, 1998.
- PAPACONSTANTINO, G.; SAKURAI, N.; WYCKOFF, A. Embodied technology diffusion: an empirical analysis for 10 OECD countries. *OECD*, Paris, 1996.
- PAVITT, Keith. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, v. 13, n. 6, p. 343–373, 1984.
- PÉREZ, Carlota. Technological dynamism and social inclusion in Latin America: A resource-based production development strategy. *Cepal Review*, v. 2010, n. 100, p. 121–141, 2010.
- ROBERTSON, Paul; SMITH, Keith; VON TUNZELMANN, Nick. Innovation in low- and medium-technology industries. *Research Policy*, v. 38, n. 3, p. 441–446, 2009.

- ROSENBERG, Nathan. Technological interdependence in the American economy. In: ROSENBERG, Nathan. *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- SABATO, Jorge A. *El comercio de tecnologia. Ensayos en campera*. Buenos Aires: Juarez Editor, 1979.
- SCHERER, F. M. Inter-industry technology flows in the United States. *Research Policy*, v. 11, n. 4, p. 227–245, 1982.
- SCHMOOKLER, Jacob. *Invention and economic growth*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1966.
- SCHUMPETER, Joseph Alois. *Capitalism, socialism and democracy*. New York: Harper & Brothers, 1942.
- SCHUMPETER, Joseph Alois. *The theory of economic development*. Cambridge, MA: Harvard University, 1934.
- SNA. *System of national accounts 2008*. New York: United Nations; European Commission; Organisation for Economic Co-operation e Development; International Monetary Fund; World Bank, 2009.
- SUZIGAN, Wilson; ALBUQUERQUE, Eduardo Motta. The underestimated role of universities for the Brazilian system of innovation. *Revista de Economia Politica*, v. 31, n. 1, p. 3–30, 2011.
- TERLECKYJ, Nestor E. *Effects of R&D on the productivity growth of industries: an exploratory study*. Washington, DC: National Planning Association, 1974.
- TESSARIN, Milene Simone. *O papel da inovação, diversificação e vizinhança setorial no desenvolvimento industrial recente do Brasil*. Tese (Doutorado em Economia das Instituições e do Desenvolvimento) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- TESSARIN, Milene Simone; SUZIGAN, Wilson; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Cooperação para inovar no Brasil: diferenças segundo a intensidade tecnológica e a origem do capital das empresas. *Estudos Econômicos*, v. 50, n. 4, p. 671–704, 2020.
- TIMMER, Marcel P. *et al.* An anatomy of the global trade slowdown based on the WIOD 2016 release. *Groningen Growth and Development Centre*, Groningen, 2016.
- ZUCOLOTO, Graziela Ferrero; TONETO JÚNIOR, Rudinei. Esforço tecnológico da indústria de transformação brasileira: uma comparação com países selecionados. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 9, n. 2, p. 337–365, 2005.

Apêndice A Alocação da P&D dos institutos públicos de pesquisa e da Petrobras nos setores de atividade de finalidade da pesquisa

Tabela A.1: Alocação setorial da P&D dos institutos públicos de pesquisa, 2013 (em Reais de 2017)

Instituto Público de Pesquisa ²³	Setor de atividade da pesquisa no SCN Ref. 2010	Valor
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	Agricultura (76,1%)	3252,9
EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina	Produção florestal, pesca e aquicultura (6,9%) Pecuária (17,0%)	368,6
APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, exceto ITAL		243,9
BAHIATER - Superintendência Baiana de Assistência Técnica e Extensão Rural (antiga EBDA - Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola)		195,3
IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná		147,1
EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais		111,3
Outros institutos agropecuários estaduais**		311,5
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais	Extração de minério de ferro (83,1%); extração de carvão mineral e minerais não-metálicos (13,7%); e extração de minerais metálicos não-ferrosos (3,1%)	672,4
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral		45,1
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	346,1
DCTA - Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial	Outros equipamentos de transporte, exceto veículos	335,0
AEB - Agência Espacial Brasileira	Outros equipamentos de transporte, exceto veículos	299,8
CTMSP - Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo	Outros equipamentos de transporte, exceto veículos	172,5
CEITEC - Centro de Excelência em Tecnologia Eletrônica Avançada	Equipamentos de informática; eletrônicos e ópticos	137,7
Instituto Butantan	Saúde pública	75,1
Instituto Vital Brazil do Rio de Janeiro	Saúde pública	65,2
Instituto Adolfo Lutz de SP*	Saúde pública	64,5

Fonte: [Morceiro \(2018\)](#).

Nota: Deflator implícito do PIB. *Estimado a partir do n° de pesquisadores do instituto multiplicado pelos investimentos em P&D por pesquisador realizado pela APTA. **Onze instituições agropecuárias estaduais menores em montante de P&D.

²³A Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) não está exibida na Tabela A.1 porque já se encontra alocada no setor de saúde pública no SCN Ref. 2010. Em 2013, a Fiocruz investiu em P&D R\$ 1409,6 milhões de 2017, sendo a terceira instituição que mais investiu em pesquisa no Brasil, atrás apenas da Embrapa e da Petrobras.

Tabela A.1: Alocação setorial da P&D dos institutos públicos de pesquisa, 2013 (em Reais de 2017) (continuação)

Instituto Público de Pesquisa	Setor de atividade da pesquisa no SCN Ref. 2010	Valor
IPqM - Instituto de Pesquisas da Marinha	Outros equipamentos de transporte, exceto veículos	53,8
Instituto Florestal de SP*	Produção florestal, pesca e aquicultura	50,5
ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos da APTA	Outros produtos alimentares (47,2%); abate e produtos de carne, de laticínios e da pesca (32,7%); Bebidas (20,1%)	49,9
LNLS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron do CNPEM	Equipamentos de informática; eletrônicos e ópticos	46,4
Instituto de Botânica de SP	Produção florestal, pesca e aquicultura	42,0
CTBE - Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol do CNPEM	Biocombustíveis	36,6
CASNAV - Centro de Análises de Sistemas Navais	Outros equipamentos de transporte, exceto veículos	32,6
CTI - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer	Equipamentos de informática; eletrônicos e ópticos	30,6
LNNano - Laboratório Nacional de Nanotecnologia do CNPEM	Químicos orgânicos, inorgânicos, resinas e elastômeros	28,2
LNBio - Laboratório Nacional de Biociências do CNPEM	Farmoquímicos e farmacêuticos	28,1
CTEx - Centro Tecnológico do Exército	Produtos de metal, exceto M&Es	23,2
Instituto Pasteur e demais Institutos de Saúde de SP*	Saúde pública	16,9
LNCC - Laboratório Nacional de Computação Científica	Equipamentos de informática; eletrônicos e ópticos	4,4
Total		7287,5

Fonte: Morceiro (2018).

Nota: Deflator implícito do PIB. *Estimado a partir do nº de pesquisadores do instituto multiplicado pelos investimentos em P&D por pesquisador realizado pela APTA. **Onze instituições agropecuárias estaduais menores em montante de P&D.

Tabela A.2: Alocação setorial dos investimentos em P&D do CENPES-Petrobras

Setor de atividade do SCN Ref. 2010	Distribuição em %	P&D de 2013 (em R\$ de 2017)
Extração de petróleo e gás	59,7	1211,5
Refino de petróleo e coquerias	21,5	436,5
Biocombustíveis	4,6	93,4
Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	14,2	289,3
Total	100,0	2030,7

Fonte: Morceiro (2018).

Nota: Deflator implícito do PIB

Apêndice B Indicadores de P&D direta e indireta para 68 setores do Brasil

Tabela B.1: Indicadores de P&D direta e indireta para 68 setores do Brasil

Setores de atividade do SCN - Referência 2010	P&D sobre a Produção (em %)					Total	Multiplicador Tecnológico
	Direta (próprio setor)	Indireta dos insumos nacionais	Indireta dos insumos importados	Indireto da FBCF nacional	Indireto da FBCF importada		
Serviços privados	0,14	0,12	0,06	0,06	0,05	0,43	3,1
Arquitetura, engenharia, análises técnicas e P&D	2,76	0,13	0,20	0,01	0,03	3,14	1,1
Desenvolvimento de sistemas, outros serviços de informação	0,99	0,09	0,19	0,03	0,03	1,33	1,3
Educação privada	1,19	0,09	0,04	0,05	0,02	1,39	1,2
Telecomunicações	0,41	0,10	0,06	0,19	0,23	0,99	2,4
Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos	0,08	0,12	0,03	0,03	0,02	0,27	3,6
Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de PI	0,21	0,09	0,06	0,40	0,29	1,05	5,1
Serviços financeiros, seguros e previdência complementar	0,02	0,09	0,04	0,01	0,01	0,17	10,9
Outros serviços administrativos e complementares	0,03	0,12	0,07	0,01	0,03	0,27	8,6
Saúde privada	0,02	0,14	0,25	0,14	0,12	0,68	28,7
Edição e edição integrada à impressão	0,13	0,18	0,05	0,04	0,04	0,44	3,5
Comércio e reparação de veículos e motocicletas	0,00	0,20	0,18	0,04	0,01	0,43	-
Transporte terrestre	0,00	0,22	0,10	0,26	0,18	0,76	-
Transporte aquaviário	0,00	0,15	0,06	0,16	0,11	0,48	-
Transporte aéreo	0,00	0,14	0,21	0,12	0,08	0,55	-
Armazenamento, atividades auxiliares e correio	0,00	0,22	0,07	0,17	0,11	0,57	-
Alojamento	0,00	0,16	0,02	0,03	0,04	0,25	-
Alimentação	0,00	0,21	0,03	0,01	0,01	0,26	-
TV, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	0,00	0,12	0,10	0,06	0,06	0,33	-
Serviços imobiliários	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,04	-
Serviços jurídicos, contábeis, consultoria, sedes de empresas	0,00	0,09	0,04	0,00	0,00	0,13	-
Outros serviços profissionais, científicos e técnicas	0,00	0,16	0,06	0,00	0,01	0,24	-
Serviços de vigilância, segurança e investigação	0,00	0,06	0,04	0,02	0,03	0,14	-
Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	0,00	0,11	0,05	0,01	0,06	0,22	-
Organizações associativas e outros serviços pessoais	0,00	0,15	0,12	0,01	0,05	0,33	-
Serviços domésticos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Total	0,54	0,20	0,14	0,07	0,05	0,99	1,9

Fonte: a mesma da Figura 4.

Nota: Dados de 2013; no caso da FBCF utilizou-se a média de 2010-2013.