

Interdependência Tecnológica Setorial em Uma Perspectiva de Redes e Setores Verticalmente Integrados: Análise para o Período 2011-2017 no Brasil

Felipe Queiroz Silva¹

Resumo

O objetivo deste artigo é analisar a evolução da estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira, ou seja, a identificação da direção e da intensidade do fluxo entre os setores que mais transferem e os que mais absorvem tecnologia. A análise compreende os anos de 2011, 2014 e 2017. Utiliza-se a abordagem metodológica de setores verticalmente integrados e análises de redes para a construção de matrizes de fluxos tecnológicos baseados em gastos de P&D e outras atividades inovativas incorporados nas transações de bens e serviços identificadas em matrizes estimadas de insumo-produto. Dentre os resultados encontrados, verifica-se que a estrutura de interdependência tecnológica setorial com base em P&D da economia brasileira entre 2011 e 2017 apresentou estabilidade, enquanto os fluxos tecnológicos com base em atividades inovativas caíram e perderam dinamismo ao longo dos anos. A indústria química se destaca como setor-chave em termos de transbordamentos tecnológicos para seus setores usuários, com destaques também para os serviços de engenharia e P&D e a indústria de borracha e plástico. Já a absorção tecnológica apresentou uma estrutura mais dispersa entre os setores, com destaque mais modesto para a indústria automotiva.

Palavras-chave: Interdependência Tecnológica Setorial. Inovação. Análise de Redes. Setores Verticalmente Integrados.

Abstract

The aim of this article is to analyze the structure of sectoral technological interdependence of the Brazilian economy, that is, the identification of the direction and intensity of the flows of technology or knowledge between the sectors. The analysis comprises the years 2011, 2014 and 2017. The methodological approach of vertically integrated sectors and network analysis is used to build matrices of technological flows based on R&D expenditures and other innovative activities incorporated in the transactions of goods and services identified in estimated input-output matrices. Among the results found, it appears that the structure of sectoral technological interdependence based on R&D of the Brazilian economy between 2011 and 2017 showed stability, while technological flows based on innovative activities fell and lost dynamism over the years. The chemical industry stands out as a key sector in terms of technological spillovers for its user sectors, with highlights also for engineering and R&D services and the rubber and plastic industry. On the other hand, technological absorption presented a more dispersed structure among sectors, with a more modest emphasis on the automotive industry.

Keywords: Sectoral Technological Interdependence. Innovation. Network Analysis. Vertically Integrated Sectors.

Área ANPEC: Área 9 - Economia Industrial e da Tecnologia

JEL: C67; L16; O33

¹ Professor adjunto da Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Ciências Econômicas da Universidade Federal de Goiás (FACE/UFG).

1. Introdução

Na literatura econômica, a inovação é vista como a principal fonte do crescimento econômico de longo prazo. No entanto, o processo de criação e difusão de inovações é complexo e incerto. Do ponto de vista das empresas e dos setores industriais, os efeitos dos esforços inovativos não se restringem à empresa ou ao setor que originou uma inovação, mas também aos efeitos que são transbordados (*spillovers*) para outras empresas ou outros setores industriais por meio da aquisição de produtos novos ou melhorados.

Esse fluxo de tecnologia entre empresas ou setores de uma economia é uma característica importante na percepção da mudança tecnológica e do crescimento econômico, e está inserido em um contexto de mudança estrutural. Vários estudos já mostraram que a maioria das inovações produzidas e incorporadas em novos produtos por um setor são utilizadas como melhorias no processo produtivo de outros setores, que resultam em ganhos de produtividade (SCHMOOKLER, 1966; SCHERER, 1982, 2003; PAVITT, 1984; WOLFF, 1997), bem como as relações entre setores produtores e usuários de inovação são determinantes para o próprio desenvolvimento da tecnologia (ROSENBERG, 1979; LUNDVALL, 1988).

Dessa maneira, o objetivo deste artigo é analisar a estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira, ou seja, a identificação da direção e da intensidade do fluxo entre os setores que mais transferem e os que mais absorvem tecnologia ou conhecimento. A análise compreende os anos de 2011, 2014 e 2017. Utiliza-se a abordagem metodológica de setores verticalmente integrados para a construção de matrizes de fluxos tecnológicos baseados em gastos de P&D e outras atividades inovativas (AI) incorporados nas transações de bens e serviços identificadas em matrizes estimadas de insumo-produto.

Para uma melhor análise e visualização sintética da estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira ao longo do tempo, utilizou-se também técnicas de análises de redes capazes de identificar a direção e intensidade dos fluxos tecnológico intersetoriais. Esse tipo de análise possui a vantagem de identificar setores-chaves em termos de suas ligações para trás e para frente na cadeia produtiva, buscando o aspecto tecnológico como fator essencial para o desenvolvimento econômico.

A identificação de setores-chaves do ponto de vista da tecnologia e a direção destes ao longo das cadeias produtivas são importantes para a percepção do processo de criação e difusão de inovações do país, bem como podem ser úteis para a formulação de estratégias e políticas de desenvolvimento econômico. Este tipo de estudo raramente é realizado em países em desenvolvimento, que podem apresentar características distintas e específicas em comparação aos países desenvolvidos. Além disso, utiliza-se também como *proxy* de inovação outras atividades inovativas para além da P&D, como projetos industriais e outras preparações técnicas, introdução de inovações no mercado, treinamento voltado para inovar, aquisição de máquinas, equipamentos e *softwares* para inovar, e aquisição de outros conhecimentos externos. Esse tipo de gasto inovativo raramente é tratado nas análises de países desenvolvidos, mas é importante para análises da realidade brasileira de baixos investimentos em P&D.

Além dessa introdução, o artigo está estruturado em mais quatro seções. A seção 2 apresenta algumas abordagens empíricas sobre interdependência tecnológica setorial utilizadas na literatura. A seção 3 apresenta a metodologia, compreendendo a construção das matrizes de fluxos tecnológicos e técnicas de análises de redes por meio da abordagem de setores verticalmente integrados, bem como os detalhes da base de dados utilizada. Por fim, a seção 4 apresenta os resultados da pesquisa, enquanto a seção 5 apresenta as considerações finais.

2. Interdependência tecnológica setorial: uma abordagem empírica

A busca por uma análise empírica de interdependência tecnológica setorial, ou seja, na identificação da direção e da intensidade dos fluxos tecnológicos entre os setores de uma economia, foi pioneiramente apresentada por Schmookler (1966). O autor ressaltava que a maior parte da produção das indústrias é direcionada para outras indústrias, e não para o consumidor final. Neste caso, uma parte importante do desenvolvimento tecnológico de um setor deve ocorrer por meio da aquisição de produtos novos ou melhorados de outros setores. Estes produtos novos ou melhorados, por outro lado, possuem algum grau

de tecnologia ou esforço inovativo incorporado, evidenciando que parte substancial do processo de difusão tecnológica em uma economia vem das relações entre produtores e usuários de inovações.

Para Schmookler (1966), uma maneira de mensurar os fluxos tecnológicos intersetoriais seria por meio de alguma *proxy* relacionada à tecnologia em nível da indústria (patentes ou gasto em P&D, por exemplo) em proporção a alguma medida de trocas entre os setores de uma economia. Com base nesses conceitos e com finalidades distintas, autores como Scherer (1982, 2003), Momigliano e Siniscalco (1984), Archibugi (1988) e Marengo e Sterlacchini (1990) desenvolveram e/ou sistematizaram algumas técnicas de mensuração dos fluxos tecnológicos utilizando matrizes de insumo-produto, já que estas representam com detalhes as trocas interindustriais de uma economia. Segundo esses autores, a abordagem de insumo-produto com a utilização de alguma variável de tecnologia fornece um quadro rigoroso para a análise de interdependência do sistema produtivo e os resultados empíricos geralmente são simples e satisfatórios.

No entanto, análises de fluxos tecnológicos baseados em matrizes de insumo-produto apresentam algumas limitações, já que o processo de difusão de tecnologia ou conhecimento é bem mais complexo do que as relações comerciais identificadas pelas matrizes. Essas limitações podem ser mais bem conceituadas de acordo com fontes distintas de externalidades (*spillovers*) geradas pelos esforços inovativos ou de P&D. Para Griliches (1979), por exemplo, há dois tipos básicos de *spillover*: *rent-spillover* e o *knowledge-spillover*. O *rent-spillover* está relacionado com os ganhos de produtividade dos setores usuários de inovações por meio da compra de insumos produtivos novos ou melhorados fornecidos pelos setores produtores, ou seja, por meio das transações de compra e venda de bens e serviços de uma economia. No entanto, as externalidades trazidas pela tecnologia vão além das transações econômicas observáveis, no qual o *knowledge-spillover* seria o transbordamento do conhecimento não incorporado na compra e venda de bens e serviços, e sim na difusão do conhecimento tácito, como ideias, habilidades, expertise ou até mesmo de arranjos cooperativos para inovação de setores com proximidade tecnológica, mas que não necessariamente transacionam mercadorias entre si.

Assim, a grande maioria dos estudos sobre fluxos tecnológicos lidam com o *rent-spillover*, já que informações e formas de mensurações de conhecimento tácito são muito mais difíceis de serem obtidas na prática. Dentre esses estudos, destaca-se o uso de análises de redes para uma visualização mais prática e sintética da interdependência tecnológica de uma economia. Schnabl (1994; 1995), por exemplo, desenvolveu uma técnica denominada *subsystem minimal flow analysis* (SMFA), definido como um método gráfico-teórico que fornece visualizações de características estruturais aplicado às informações das matrizes de insumo-produto com base nas técnicas de setores verticalmente integrados (SRAFFA, 1960; PASINETTI, 1973). Numa abordagem de fluxo de tecnologia, o método SMFA permite visualizar e qualificar de forma prática quais são os principais setores de uma economia responsáveis por fornecer e utilizar tecnologia.

Alguns estudos sobre interdependência tecnológica setorial que utilizaram o método de Schnabl (1994; 1995) identificaram características estruturais importantes para países distintos. Por exemplo, Düring e Schnabl (2000) analisou os fluxos tecnológicos da Alemanha, Estados Unidos e Japão para os anos de 1980 a 1990 e observaram características similares e distintas entre os países. Em todos os três países foi possível perceber que o setor de química é uma importante fonte de tecnologia para outros setores, enquanto os setores de materiais eletrônicos e de máquinas e equipamentos são centrais tanto no fornecimento quanto no recebimento de tecnologia. Por outro lado, foi possível identificar algumas diferenças nos fluxos de tecnologia intersetoriais entre os países. Foi possível perceber, por exemplo, a importância dos setores de aeronaves e de petróleo como receptores de tecnologia para a economia norte-americana e o de papel e celulose para a economia japonesa.

Drejer (1999) aplicou o método SMFA para a Dinamarca entre 1979 e 1991, e verificou a importância dos setores de alimento e vários serviços como maiores receptores de tecnologia, enquanto o setor de máquinas e equipamentos foi visto como o principal fornecedor. A autora concluiu que a intensidade do P&D incorporado em novos produtos de outras indústrias é maior do que o P&D próprio em setores menos intensivos em tecnologia como os de vestuário, construção e serviços, enquanto essa proporção é menor para setores mais intensivos em tecnologia como os de instrumentos ópticos e eletrônica. Outra observação é a de que enquanto os fornecedores de tecnologia tendem a ser concentrados em poucas indústrias, os usuários tendem a ser mais diversificados e estáveis, principalmente devido à alta quantidade

de setores relacionados a serviços. Papaconstantinou, Sakurai e Wyckoff (1998) também verificou o impacto do gasto em P&D de forma direta e indireta de 10 países da OCDE e chegou em conclusões semelhantes.

Um outro método de análise de redes muito parecido com o apresentado por Schnabl (1994; 1995), também utilizando a abordagem de setores verticalmente integrados, é apresentado Leoncini, Maggioni e Montresor (1996). A forma de análise e os objetivos são os mesmos: o de levantar características de interdependências setoriais de uma economia do ponto de vista de sistemas tecnológicos. Os autores aplicaram seus conceitos para comparar os sistemas tecnológicos da Itália e da Alemanha, e perceberam que o segundo era caracterizado por um alto nível de conexões sistêmicas de forma bem distribuída entre os setores industriais, enquanto o primeiro era caracterizado por um sistema tecnológico segmentado em uma estrutura dualística onde poucos setores de alta intensidade tecnológica coexistiam com um conjunto de setores tradicionais. Leoncini e Montresor (2003) aplicou a mesma técnica em um conjunto maior de países pertencentes a OCDE, evidenciando as diferenças dos sistemas tecnológicos entre os países ao longo do tempo.

Por fim, cabe ressaltar que o tema interdependência tecnológica setorial é amplamente discutido por abordagens mais gerais e sistêmicas como as de sistemas nacionais de inovação (LUNDVALL et al., 2002), sistemas setoriais de inovação (MALERBA, 2002) e sistemas tecnológicos (LEONCINI; MONTRESOR, 2003), que visam explorar características e capacidades inovadoras através de conjuntos e configurações institucionais e outros atributos intrínsecos do sistema econômico, como contextos históricos. Lundvall et al. (2002) e Andersen (2010) são mais céticos ao uso de matrizes de insumo-produto justamente por elas captarem apenas as trocas dentro do sistema produtivo, já Leoncini e Montresor (2003) utilizaram bastante a metodologia de insumo-produto em suas análises de sistemas tecnológicos ao buscarem captar também outros componentes importantes do sistema econômico, como as instituições governamentais e institutos de pesquisa e universidades. Isso depende basicamente da disponibilidade de dados desses outros componentes na análise proposta, não modificando de forma empírica a abordagem padrão iniciada por Schmookler (1966). O que se percebe é a falta de estudos desse tipo para economias em desenvolvimento, que devem apresentar particularidades importantes nos seus processos de difusão e interdependência tecnológica entre os setores econômicos.

3. Metodologia

A metodologia do artigo consiste na construção de matrizes de fluxos tecnológicos e na utilização de ferramentas para as análises de interdependência tecnológica setorial. Dessa maneira, as próximas subseções apresentam o uso de técnicas de insumo produto e setores verticalmente integrados para a construção de fluxos tecnológicos, o método de análises de redes e a base de dados utilizada.

3.1. Matrizes de fluxos tecnológicos: de insumo-produto a setores verticalmente integrados

Dado o sistema econômico representado pela notação da matriz de insumo-produto, a relação entre o valor da produção e a demanda final (consumo final, exportações e investimentos) pode ser determinado pela equação 1:

$$x = Ax + y \tag{1}$$

Onde: x é o vetor do valor bruto da produção; A é a matriz dos coeficientes técnicos diretos de produção; e y é o vetor de demanda final.

A partir dessa representação, pode-se construir uma matriz de requerimentos técnicos diretos e indiretos (inversa de Leontief = $(I - A)^{-1} = L$), no qual cada elemento representa o produto do setor i que é requerido (direta e indiretamente) por uma unidade da demanda final do setor j :

$$x = (I - A)^{-1} = Ly \tag{2}$$

Para a construção de uma matriz de fluxo de tecnologia H , que descreve a transferência de tecnologia incorporada nas relações intermediárias entre os setores, utiliza-se o conceito de subsistemas ou setores verticalmente integrados, utilizado por Momigliano e Siniscalco (1984) com base em Sraffa (1960) e Pasinetti (1973). Na abordagem de sistemas verticalmente integrados, todas as transações intersetoriais são vistas como parte de um processo contínuo, que apenas é completado quando se produz uma mercadoria destinada a suprir uma demanda final. Nessa abordagem, a relação principal deixa de ser as indústrias e passa a ser os produtos, onde cada bem final é expresso pelos elementos que os constituem: a quantidade de trabalho incorporado em todo o processo de produção. Assim, um setor verticalmente integrado ou um subsistema j é definido como uma unidade de investigação identificada por todas as atividades utilizadas diretamente e indiretamente para satisfazer a demanda final de um produto j . Se é possível identificar a quantidade de trabalhadores incorporados em todo o processo de produção de um determinado produto, o mesmo pode ser feito no valor de P&D ou de qualquer outra variável relevante para o processo produtivo incorporado neste mesmo produto. Dessa forma, o gasto em P&D ou em atividades inovativas é projetado na matriz de insumo-produto. Isto se dá pela pré-multiplicação de uma matriz diagonal de intensidade do gasto setorial em P&D ou em atividades inovativas pela matriz de requerimentos técnicos diretos e indiretos:

$$H' = \hat{r}\hat{x}^{-1}L\hat{y} \quad (3)$$

Onde " $\hat{\cdot}$ " significa que o vetor foi transformado em uma matriz diagonal; \hat{r} é a matriz diagonal de gasto em P&D ou atividades inovativas setorial e \hat{x}^{-1} é a matriz diagonal inversa do valor total da produção setorial, no qual $\hat{r}\hat{x}^{-1}$ representa a intensidade do gasto setorial em P&D ou em atividades inovativas.

A matriz de fluxos de P&D ou atividades inovativas incorporadas nas transações de bens e serviços apresentada pela equação 3, chamada a partir de agora de matriz de fluxos tecnológicos, é comumente denominada na literatura como uma matriz de “estrutura nominal” (*actual-structure*), pois ela incorpora a estrutura fornecida pela demanda final nominal das matrizes de insumo-produto. Alternativamente, pode-se negligenciar a informação disponível da demanda final:

$$H = \hat{r}\hat{x}^{-1}L \quad (4)$$

Onde a matriz de fluxos tecnológicos H representa as relações puramente tecnológicas dos gastos em P&D ou em outras atividades inovativas incorporados em bens e serviços entre os setores econômicos, ou seja, na proporção da intensidade do gasto em P&D sobre os coeficientes técnicos diretos e indiretos da matriz L , não dependendo do tamanho e da estrutura da demanda final. Por este motivo, a matriz H é comumente denominada na literatura como uma matriz de “estrutura padrão” (*standard-structure*). Essa abordagem possui a vantagem de analisar as ligações setoriais em proporções ditadas pelos coeficientes técnicos das matrizes, sem a necessidade de explicitar volumes dos valores econômicos (demanda final) sobre os gastos em P&D representado pela matriz H' . Sob análise da estrutura padrão, cada célula de H representa o gasto em P&D incorporado em bens e serviços do setor i necessária para satisfazer a demanda final do setor j .

A interpretação dada pelos coeficientes da matriz H fornece um quadro rigoroso para a análise da interdependência do sistema produtivo, no qual contempla toda a economia de um país. No entanto, como discutido na seção anterior, esse método representa uma mensuração de *rent spillover*, sem considerar as características da difusão do conhecimento tácito.

3.2. Análise de redes

Uma ferramenta útil para analisar os fluxos tecnológicos intersetoriais é por meio de análises de redes, que permitem caracterizar qualitativamente a abordagem de insumo-produto e revelar de maneira prática e visual características estruturais de uma economia. De maneira geral, a análise de rede é composta por uma transformação binária (*booleana*), ou seja, com valores “0” ou “1”, da matriz de coeficientes

técnicos A em uma matriz adjacente W de acordo com o estabelecimento de certo critério ou filtro (f) de valores (MILLER; BLAIR, 2009). A ideia é que se $a_{ij} < f$, os valores são considerados relativamente insignificantes para o quadro econômico geral e podem ser ignorados. O contrário acontece se $a_{ij} \geq f$, estabelecendo relações relevantes entre os setores econômicos:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } a_{ij} \geq f \\ 0 & \text{se } a_{ij} < f \end{cases} \quad (5)$$

Dessa maneira, a matriz W corresponde a uma transformação das transações quantitativas de insumo-produto da matriz A para uma matriz binária qualitativa. Após a “binarização”, vários métodos gráficos podem ser aplicados para as matrizes adjacentes W . Dentre elas, destaca-se o trabalho de Schnabl (1994, 1995), replicado por vários outros autores e inserida na análise de fluxos tecnológicos. O autor desenvolveu uma técnica denominada *subsystem minimal flow analysis* (SMFA). Segundo Schnabl (1994), para obter a estrutura completa das informações contidas na matriz A , deve-se calcular não apenas as ligações diretas, mas também as ligações indiretas dos estágios intermediários. Os impactos diretos e indiretos são proporcionados pela matriz de Leontief L , no qual a mesma pode ser decomposta em várias camadas n por meio de uma série de progressão geométrica:

$$L = (I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots + A^n \quad (6)$$

Dada a matriz de fluxos tecnológicos $H = \hat{r}\hat{x}^{-1}L$ (equação 4), a mesma também pode ser definida em camadas de acordo com a equação 6:

$$H_1 = \hat{r}\hat{x}^{-1}A \quad (7)$$

$$H_2 = \hat{r}\hat{x}^{-1}A^2 \quad (8)$$

$$\dots$$

$$H_n = \hat{r}\hat{x}^{-1}A^n \quad (9)$$

Onde cada matriz H_n , sendo $n = 1, 2, \dots, n$, reflete uma camada da cadeia de fluxos intermediários da matriz original H . As camadas H_1, H_2, \dots, H_n obtidas nesse processo são então transformadas em matrizes binárias adjacentes W_1, W_2, \dots, W_n , de acordo com um valor de filtro f (equação 5). As ligações diretas e indiretas das matrizes W_n podem então ser traçadas de uma forma que corresponda aos diferentes números de camadas combinadas para estabelecer uma ligação, ou seja, ao “comprimento” das ligações. Isso é feito por meio da formação das matrizes W^n :

$$W^n = W_n W^{n-1} \quad (10)$$

Onde a sequência de W^n mostra quantos comprimentos de cadeia n existem entre os setores. Por exemplo, cada elemento w_{ij} de W^2 contém o valor 1 se, e somente se, cada elemento w_{ij} de W^1 também for igual a 1, refletindo 2 estágios de conexão entre os setores i e j . Dessa maneira, as matrizes W^n incluem todos os fluxos dos estágios intermediários, ao invés de analisar apenas os fluxos dos estágios intermediários de partida e depois tratando-os como constantes. Adicionalmente, uma matriz de dependência U pode ser derivada por meio de uma soma *booleana* (i.e. $1 + 1 = \#1$) das matrizes W^n :

$$U = \#(W^1 + W^2 + \dots + W^{n-1}) \quad (11)$$

Onde: o símbolo $\#$ significa adição lógica *booleana*. Assim, dado um valor de filtro f , se $u_{ij} = 1$ significa que há uma ligação direta e/ou indireta significativa entre dois setores, caso $u_{ij} = 0$ significa que não há ligações significativas entre dois setores.

A maior limitação das análises de rede é a definição do filtro f , que de maneira geral é escolhido de maneira arbitrária na literatura. Quanto maior for o valor do filtro, mais a análise se concentrará nas relações intersetoriais mais intensas, e, quanto menor for o valor do filtro, mais a análise se torna frouxa por selecionar relações pouco intensas. No limite, um $f = 0$ mostraria valores iguais a 1 em todas as células da matriz U .

Um valor de f ótimo estaria alocado em algum ponto médio da escala de f s possíveis. Para a análise estrutural da rede de fluxos tecnológicos, o importante é escolher um filtro que combine suficientemente a abrangência da estrutura da economia ao mesmo tempo em que a reduza para a sua parte substancial e analítica. Tanto a “abrangência”, quanto a “redução substancial”, são condições qualitativas que devem ser concretizadas de maneira a deixar a análise operacional (SCHNABL, 1994). Para os dados aplicados neste artigo, buscou-se uma análise sensível para mapear uma escala de f s e selecionar um ponto que compreendesse bem o padrão de fluxos tecnológicos da economia brasileira, mantendo-se ao mesmo tempo um número de setores significativos e as especificidades dos setores mais representativos.

3.2.1. Densidade e centralidade da rede

Além do processo de transformação da matriz de fluxos tecnológicos em uma matriz binária qualitativa, outras ferramentas de análises de redes também são úteis para a compreensão da estrutura de uma economia. Algumas dessas ferramentas são os índices de densidade e centralidade da rede. Enquanto a densidade é uma característica de toda a rede, a centralidade é mais voltada para as características de seus nós (setores). Os conceitos e índices tratados aqui foram embasados por Leoncini e Montresor (2003) em seus estudos sobre sistemas tecnológicos.

A densidade (D) de uma matriz composta de n setores, ou seja, a matriz de dependência binária U (equação 11), dado um valor de f estabelecido, é definida como a razão entre o número de ligações (e) entre os setores e o número total de ligações possíveis:

$$D(f) = \frac{e}{n(n-1)} \quad (12)$$

A equação 12 mostra que quanto maior for o valor de D , maior será a densidade da rede, ou seja, mais a estrutura de fluxos tecnológicos entre os setores de uma economia é conectada, apresentando-se uma maior coesão entre os *spillovers* setoriais. Redes mais densas mostram economias mais ativas e sólidas e pode ser interpretada como economias de maior complexidade e sofisticação econômica ou tecnológica. Como o valor da densidade de rede depende do valor de f , comparações intertemporais de fluxos tecnológicos de um mesmo país ou entre países devem se adequar a um mesmo valor de f .

Já o índice de centralidade por setor é composto pelo total de ligações que um setor j recebe como *input* (C_{in}^j) e fornece como *output* (C_{out}^j):

$$C_{in}^j = \sum i_{in} \quad (13)$$

$$C_{out}^j = \sum i_{out} \quad (14)$$

Onde i_{in} e i_{out} indicam os setores que, respectivamente, utilizam e fornecem P&D ou outras atividades inovativas incorporadas em bens e serviços. Dessa maneira, os indicadores de centralidade ajudam a determinar se um setor é dependente ou dispersivo em relação aos seus fluxos tecnológicos.

Outro indicador utilizado em análises de rede é o índice de centralidade da rede, também composto pela sua parte *input* (C_{in}) e pela sua parte *output* (C_{out}). Este índice pode ser definido como o somatório da diferença entre o índice de centralidade do setor mais central da rede e o índice de centralidade do setor j ($C^{J*} - C^j$) sobre o nível máximo possível de centralidade da rede composta por n setores ($(n-1)(n-2)$):

$$C_{in}(f) = \frac{\sum_j (C_{in}^{J*} - C_{in}^j)}{(n-1)(n-2)} \quad (15)$$

$$C_{out}(f) = \frac{\sum_j (C_{out}^{j*} - C_{out}^j)}{(n-1)(n-2)} \quad (16)$$

De forma geral, um alto índice de centralidade da rede significa que a mesma possui maiores diferenças entre as posições de centralidade dos setores, enquanto um baixo índice significa que a rede possui posições de centralidade similares. De outra maneira, um alto grau de centralidade da rede significa que as participações setoriais podem ser consideradas mais hierárquicas, enquanto um baixo grau de centralidade da rede significa que as participações setoriais podem ser consideradas mais atomizadas. Segundo Leoncini e Montreser (2003), para o caso dos fluxos tecnológicos, redes mais hierárquicas podem ser menos propícias para relações tecnológicas mais interativas e complexas entre os setores do que redes mais atomizadas.

3.3. Base de dados

A base de dados para a construção das matrizes de fluxos tecnológicos para o Brasil exige a compatibilização de três fontes de dados secundárias: i) matrizes de insumo-produto (MIP), disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a cada cinco anos; ii) estimações das MIPs para os anos não fornecidos pelo IBGE, estimadas e disponibilizadas por Alves-Passoni e Freitas (2020), com base nos dados das MIPs e do Sistema de Contas Nacionais (SCN), também do IBGE; e iii) dados de P&D e em atividades inovativas em níveis setoriais, disponibilizados pelo IBGE por meio da Pesquisa de Inovação (Pintec), disponível a cada três anos entre 2000 e 2017. Os maiores problemas de compatibilização dos dados se referem a abrangência da série de anos disponíveis, divergências nas classificações de atividades econômicas, e, para o caso das matrizes de insumo-produto, mudanças de metodologias de cálculo ao longo de sua série.

As matrizes de insumo-produto para a economia brasileira são calculadas pelo IBGE e têm sido divulgadas a cada cinco anos para os anos com finais zero e cinco. A última MIP disponibilizada é para o ano de 2015. Como os dados de P&D e outras atividades inovativas estão disponíveis apenas a partir de 2000, as MIPs originais disponíveis para este estudo se restringem aos períodos 2000, 2005 e 2010. Na tentativa de preencher as lacunas dos anos para as quais as MIPs não são divulgadas oficialmente, existem algumas técnicas de estimação e atualização das matrizes com base em informações adicionais, advindas das tabelas de recursos e usos (TRUs), do SCN, divulgados periodicamente pelo IBGE. No Brasil, alguns autores como Guilhoto e Sesso Filho (2005), Grijó e Bêrni (2006) e Martinez (2015) propuseram alguns métodos de estimação das matrizes brasileiras.

Para este artigo, optou-se por utilizar as estimações propostas, detalhadas e disponibilizadas por Alves-Passoni e Freitas (2020). Esta metodologia consiste na utilização das informações estruturais presentes nas MIPs oficiais com dados anuais disponíveis das TRUs. De maneira geral, o método consiste em gerar informações estruturais (*mark-downs*) das MIPs originais, criando proporções e ajustes que serão preenchidas pelos dados contidos nas TRUs de cada ano que se deseja estimar.

No entanto, a compatibilização de uma série completa de matrizes insumo-produto estimadas para um período longo ainda apresenta dificuldades devido à mudança de metodologia de cálculo das TRUs realizadas pelo IBGE ao longo dos anos. Entre os anos 2000 e 2009 as TRUs utilizaram como base de cálculo o SCN referência 2000, enquanto os dados a partir de 2010 seguem o método do SCN referência 2010. Dentre as principais mudanças, encontra-se uma nova classificação setorial, passando da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 1.0 para 2.0. Isso influenciou na capacidade de desagregação de muitos setores. Por exemplo, para uma análise compatibilizada antes e após-2010, o setor de máquinas e equipamentos está agregado com a indústria eletrônica, móveis e diversos. Do ponto de vista tecnológico, a análise perde consistência por agregar atividades de distintas intensidades tecnológicas.

Dessa maneira, para evitar problemas de agregação dos setores, o presente estudo se limitou a analisar os fluxos tecnológicos da economia brasileira a partir de 2010. Nesse cenário, a Pintec somente fornece dados de P&D e atividades inovativas para os anos 2011, 2014 e 2017, o que justificou os anos escolhidos de análise. Ao final, compatibilizando os dados das MIPs estimadas com a classificação setorial fornecida pela Pintec, tem-se uma matriz de 60 atividades econômicas.

Mesmo com esse esforço de compatibilização, destaca-se ainda uma grande limitação. Os dados da Pintec (IBGE, 2016b) não englobam todos os setores presentes nas MIPs estimadas, pois a pesquisa está mais voltada às atividades industriais e alguns serviços mais intensivos em conhecimento. Dos 60 setores selecionados, 32 possuem dados de P&D e outras atividades inovativas (ver Tabela A, no Anexo), que são os setores que englobam a indústria de transformação, extrativa, eletricidade e gás, e serviços mais sofisticados. Logo, os fluxos tecnológicos apresentados neste artigo focam as transferências do setor industrial e dos serviços intensivos em conhecimento para todos os setores da economia. A hipótese, neste caso, é que a agropecuária e os serviços de baixa complexidade (alimentação, saúde, educação, doméstico etc.) não investem ou investem muito pouco em P&D e atividades inovativas.

4. Resultados

As próximas subseções apresentam, respectivamente, as redes de fluxos tecnológicos por meio da *proxy* P&D e por meio de uma *proxy* mais ampla de gastos gerais em atividades inovativas.

4.1. Fluxos tecnológicos de P&D incorporado

A Tabela 1 apresenta os valores de *output* (*out*), ou seja, de ligações a jusante, e *input* (*in*), ou seja, de ligações a montante, das matrizes de fluxos tecnológicos binárias de P&D incorporado nos fluxos intersetoriais para os três períodos analisados. Por questão de espaço e como as transferências tecnológicas são mais hierarquizadas do que a absorção, a tabela apresenta apenas os setores que apresentaram as ligações a jusante em algum dos anos analisados, bem como as ligações de absorção tecnológica destes. Nas análises de redes das figuras a seguir é possível verificar com mais detalhes os fluxos tecnológicos. No final da tabela é apresentado o número total de ligações, os valores de centralidade da rede *out e in* e os valores de densidade da rede².

Tabela 1 - Redes de fluxos tecnológicos, P&D incorporado, 2011-2017

	2011		2014		2017	
	Out	In	Out	In	Out	In
Indústria Extrativa	1	0	1	1	1	1
Têxtil	1	1	0	1	0	1
Petróleo	3	1	3	1	2	1
Química	4	1	5	1	4	0
Farmacêutica	3	1	1	1	3	1
Minerais não-metálicos	0	0	0	1	1	0
Siderurgia	1	0	1	0	1	0
Metalurgia não-ferrosos	1	0	0	0	0	0
Máquinas e Eq. Elétricos	0	1	2	0	0	0
Máquinas e Eq. Mecânicos	1	1	1	1	1	1
Autopeças	1	0	1	1	1	1
Outros Transportes	0	0	0	0	1	0
Desenvolvimento de sistemas	0	0	2	0	1	0
Engenharia e P&D	9	0	16	0	11	0
Total de ligações	25	25	33	33	27	27
Centralidade da Rede	0,150	0,028	0,271	0,025	0,185	0,027
Densidade da Rede	0,007		0,009		0,008	

Fonte: Elaboração própria.

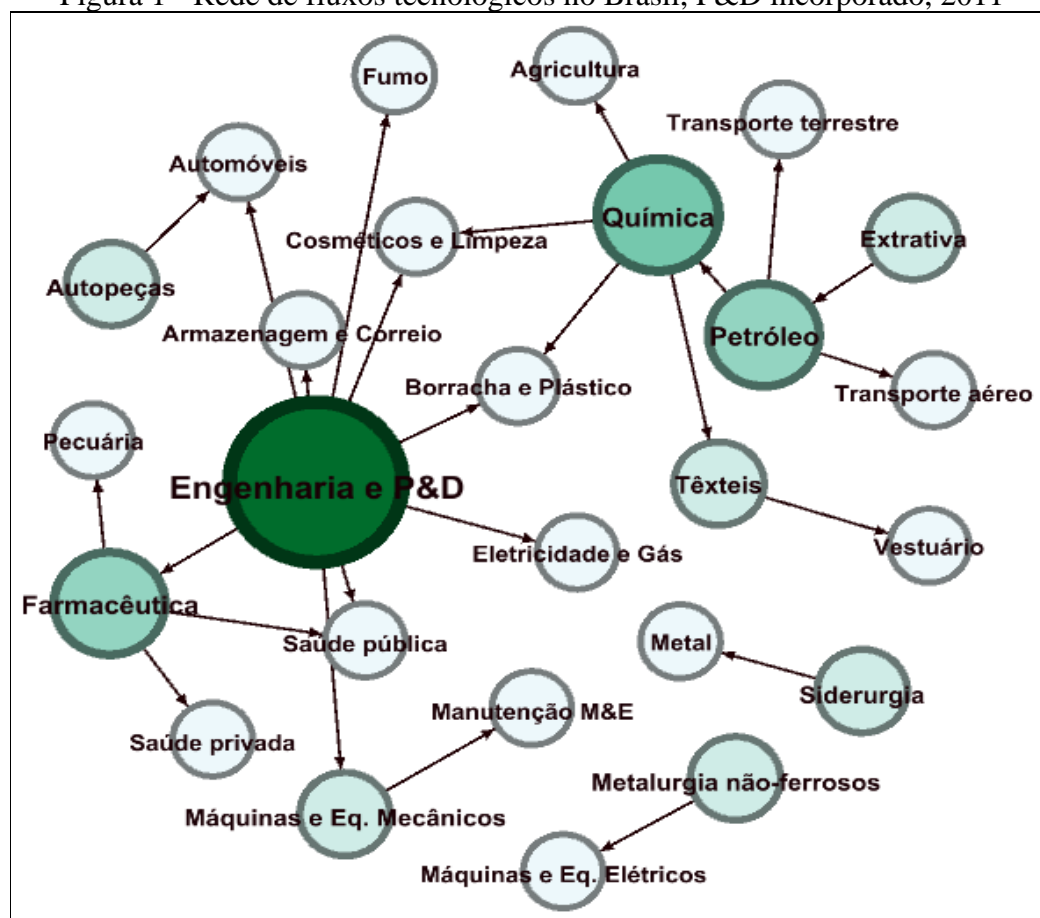
² O valor do filtro (*f*) escolhido para a análise de redes ao longo dos períodos foi de 0,0004. Como discutido na seção 3.2, foram testados vários valores com a finalidade de selecionar as ligações tecnológicas mais intensas e representativas. De maneira geral, observou-se que os setores mais representativos continuam sendo os mesmos independentemente do filtro escolhido, variando mais a quantidade de ligações para cada setor. Por exemplo, em 2011 a indústria química apresentou uma quantidade de sete ligações a jusante com um filtro de 0,0003 e de três ligações com um filtro de 0,0005, ante as quatro ligações observáveis com o filtro 0,0004 escolhido. Optou-se por selecionar um filtro intermediário que compreendesse tanto a abrangência da estrutura da economia, quanto a sua parte substancial e analítica.

A Tabela 1 mostra que o ano de 2014 teve o maior número de ligações intersetoriais (33 ligações). Já os anos de 2011 e 2017 obtiveram valores similares e um pouco abaixo (respectivamente, 25 e 27 ligações). Isso se traduz na densidade da rede de fluxos tecnológicos, que passou de 0,7% em 2011 para 0,9% em 2014 e 0,08% em 2017. Dado um período de seis anos, pode-se dizer que os fluxos tecnológicos da economia brasileira se mantiveram basicamente estáveis. Essa estabilização nos fluxos tecnológicos de P&D incorporado está refletida nos valores muito próximos da proporção de gastos em P&D sobre o valor bruto da produção (VBP) ao longo do tempo, embora com tendência de queda. A Tabela A, no Anexo, mostra que a relação P&D/VBP no Brasil foi de 0,27% em 2011 para 0,23% em 2017.

A Tabela 1 também mostra que em 2014 a centralidade da rede a jusante (*output*) aumenta de maneira significativa. Em 2011, este dado chega ao valor de 0,15, e em 2014 a 0,271, para voltar a cair para 0,185 em 2017. Isso mostra que o maior número de ligações em 2014 se deve a uma maior hierarquização a jusante da rede, ou seja, ao maior transbordamento de alguns setores específicos. Percebe-se que em 2014 o maior número de ligações a jusante se deu por causa dos serviços de engenharia e P&D, serviços que são típicos de atividades inovadoras. Porém, é um setor que também mostra centralidade nos outros anos. As atividades econômicas que contribuíram de maneira isolada para o maior resultado a jusante em 2014 são máquinas e equipamentos elétricos e serviços de desenvolvimento de sistemas, além de um aumento da indústria química, que também é importante para as redes dos outros anos. Já os valores de centralidade da rede a montante (*input*) praticamente não mudaram ao longo do tempo, evidenciando-se que a absorção tecnológica é menos hierárquica e mais estável.

A Tabela 1, no entanto, não fornece com detalhes para qual setor determinada indústria transborda ou absorve P&D incorporado. As trocas de fluxos tecnológicos são mais bem observadas por redes de ligações intersetoriais. A Figura 1 apresenta a rede de fluxos tecnológicos de P&D incorporado para 2011.

Figura 1 - Rede de fluxos tecnológicos no Brasil, P&D incorporado, 2011



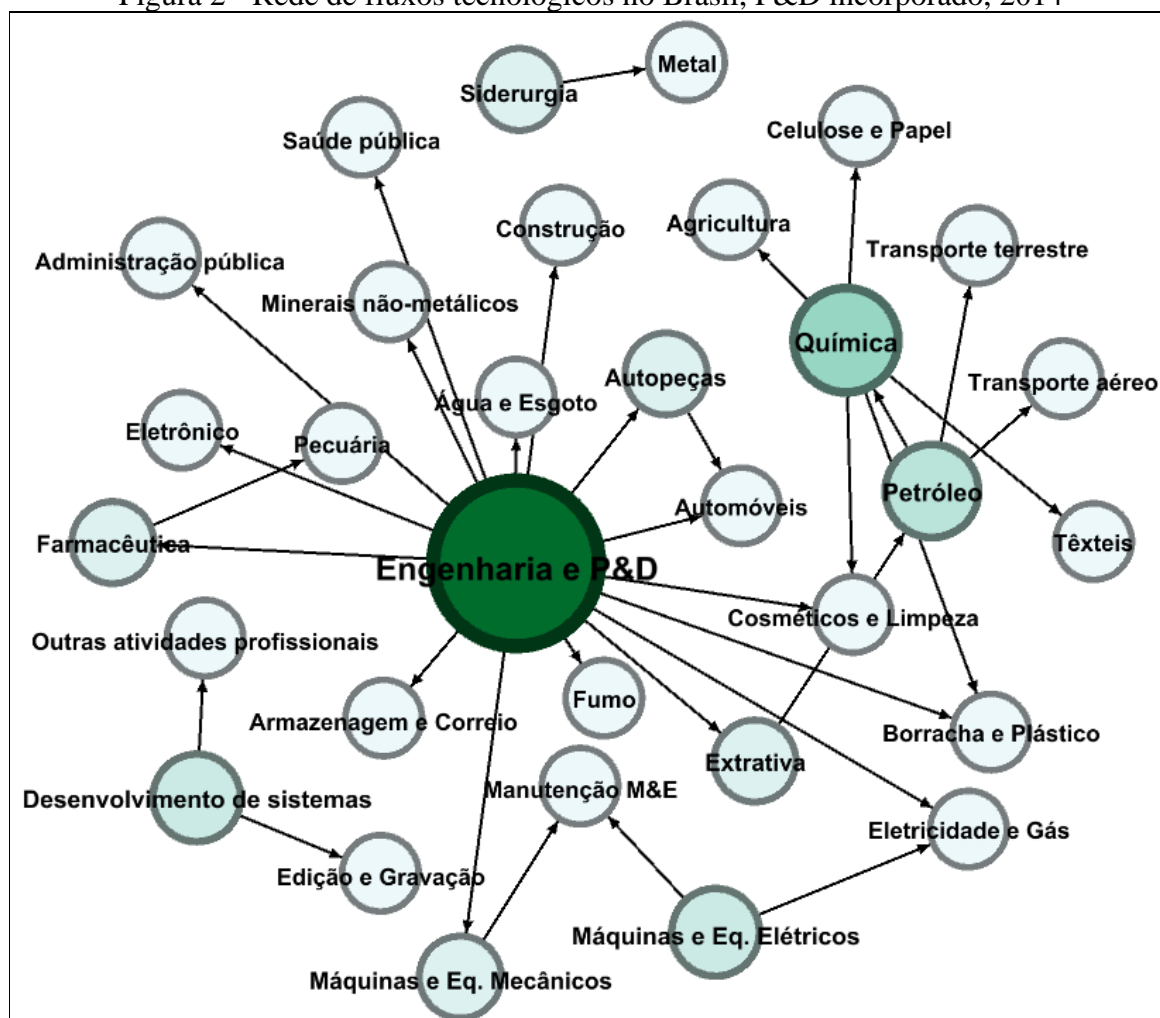
Nota: os tamanhos dos nós (setores) são proporcionais à intensidade de gasto em P&D e a escala de cores dos nós são mais fortes de acordo com o número de ligações a jusante. Rede criada por meio do *software* Gephi.

Fonte: Elaboração própria.

Como já apresentado na Tabela 1, os serviços de engenharia e P&D e a indústria química são centrais nos *spillovers* de P&D para o ano 2011. Os serviços de engenharia e P&D apresentaram nove ligações diversificadas para distintas indústrias e serviços, desde o complexo da saúde (farmacêutica e saúde pública), passando por setores de média-alta intensidade tecnológica (cosméticos, máquinas e equipamentos mecânicos e automóveis), até setores de baixa e baixa-média intensidade tecnológica (fumo, borracha e plástico). Já a indústria química possui importância de transferência tecnológica incorporada em seus produtos para a agricultura (fertilizantes, defensivos agrícolas), cosméticos e limpeza, borracha e plástico e indústria têxtil. Outros setores que em menor medida se destacam com três ligações a jusante são as indústrias de petróleo e farmacêutica. Do ponto de vista da absorção de P&D incorporado, o setor que mais se beneficiou dos fluxos tecnológicos foi a indústria automotiva, que além dos serviços de engenharia e P&D, absorve tecnologia do setor de autopeças. Não se identificou nenhuma ligação bidirecional, ou seja, setores que mutuamente recebem e transferem P&D incorporado.

Como já analisado na Tabela 1, a Figura 2 mostra que os fluxos tecnológicos de P&D incorporado aumentaram em 2014 na comparação com 2011. Esse aumento se dá principalmente por meio das maiores ligações substanciais que os serviços de engenharia e P&D proporcionaram, saindo de nove ligações em 2011 para 16 ligações em 2014. Ainda muito diversificado, destaca-se as transferências que esses serviços geraram nas indústrias eletrônica, extrativa, minerais não-metálicos e na administração pública.

Figura 2 - Rede de fluxos tecnológicos no Brasil, P&D incorporado, 2014



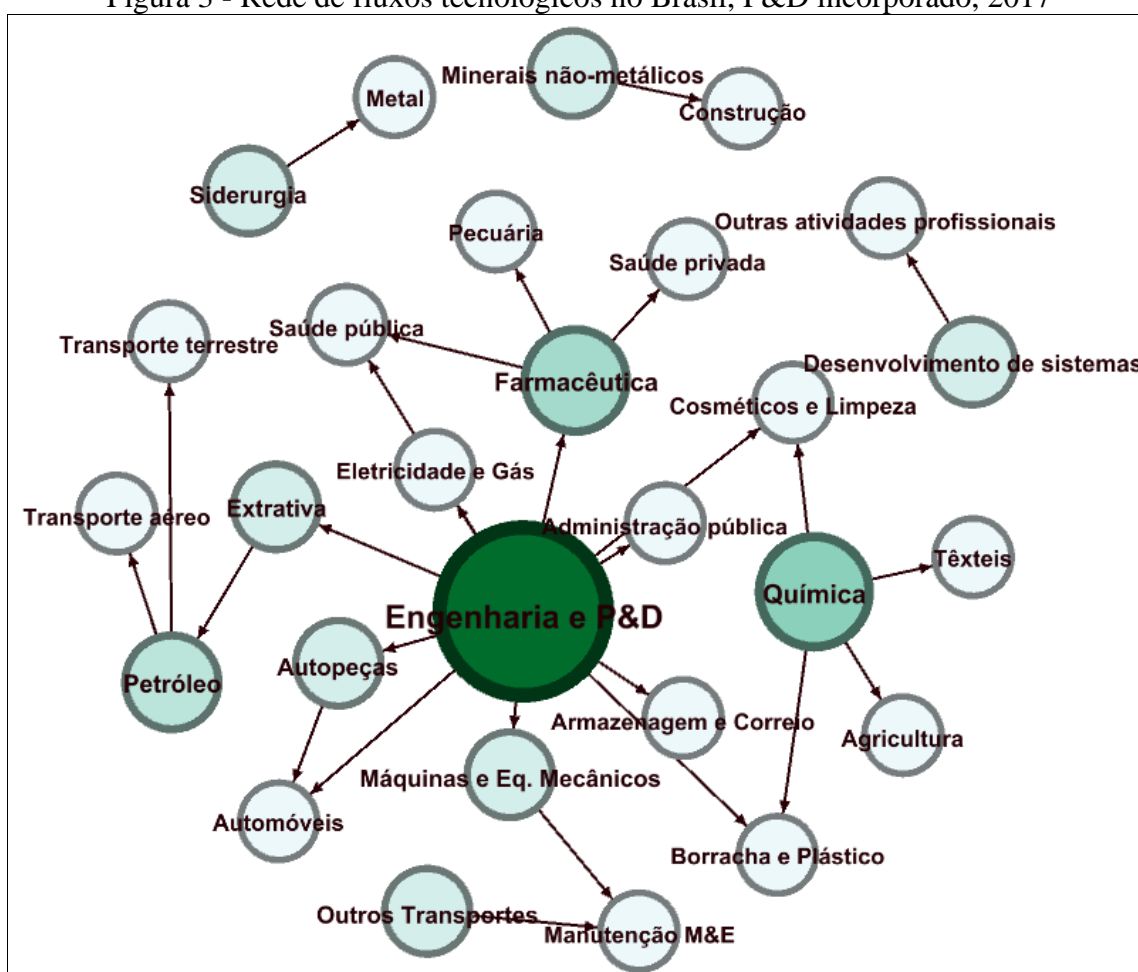
Nota: os tamanhos dos nós (setores) são proporcionais à intensidade de gasto em P&D e a escala de cores dos nós são mais fortes de acordo com o número de ligações a jusante. Rede criada por meio do *software* Gephi.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 também mostra a maior centralidade da indústria química em 2014, que desta vez apresenta uma ligação a jusante a mais, destinada a indústria de celulose e papel. Outros setores que se

destacam como principais transferidores de P&D incorporado em 2014 são as indústrias de petróleo, máquinas e equipamentos elétricos e desenvolvimento de sistemas. As duas últimas não apareciam como importantes na rede de fluxos tecnológicos em 2011. Uma parte disso pode ser explicado pelos aumentos consideráveis de gastos em P&D desses setores (Tabela A, no Anexo), e outra parte pelo maior uso dos produtos e serviços desses setores por outras atividades, característica que é influenciada por modificações nas matrizes de coeficientes técnicos. Por outro lado, percebe-se uma perda de importância da indústria farmacêutica, que mantém a sua transferência tecnológica para a pecuária, mas que perde intensidade de transferência para os serviços de saúde pública e privada.

Por fim, a Figura 3 mostra a rede de fluxos tecnológico de P&D incorporado para a economia brasileira em 2017. Percebe-se que a rede perde densidade com relação à 2014 (Figura 2), mas mantém a centralidade dos serviços de engenharia e P&D e, em menor proporção, da indústria química, que volta a ter quatro ligações a jusante. A indústria farmacêutica volta a manter transferências de P&D significativas para os serviços de saúde. Apesar da mudança de alguns setores, a Figura 3 é bem semelhante à Figura 2, indicando uma estabilidade dos fluxos tecnológicos entre 2011 e 2017.

Figura 3 - Rede de fluxos tecnológicos no Brasil, P&D incorporado, 2017



Nota: os tamanhos dos nós (setores) são proporcionais à intensidade de gasto em P&D e a escala de cores dos nós são mais fortes de acordo com o número de ligações a jusante. Rede criada por meio do *software* Gephi.

Fonte: Elaboração própria.

Ao longo dos períodos analisados, verifica-se uma consolidação da interdependência tecnológica setorial com base em P&D da indústria química para a agropecuária e para as indústrias de borracha e plástico, têxtil e cosméticos e limpeza. De fato, estas possuem os produtos químicos (defensivos agrícolas, solventes, resinas, branqueadores, alvejantes, corantes, reagentes químicos etc.) como insumos de produção fundamentais para o seu processo produtivo e para as melhorias de desempenho. Já os serviços de

engenharia e P&D mantiveram relações de transferência tecnológica em todos os anos para os setores de automóveis, máquinas e equipamentos mecânicos, farmacêutica, cosméticos e limpeza, borracha e plástico, eletricidade e gás e armazenagem e correio. Dentro da indústria de transformação, o único setor considerado de baixa-média intensidade tecnológica que apresenta alta absorção de P&D incorporado dos serviços de engenharia e P&D é o setor de borracha e plástico.

No geral, a transferência tecnológica via P&D incorporado é muito mais hierarquizada do que a absorção, com destaque para a importância dos serviços de P&D, da indústria química e, em menor grau, das indústrias de petróleo e farmacêutica. Chama atenção que setores chaves do ponto de vista da intensidade tecnológica, como as indústrias de máquinas e equipamentos e a indústria eletrônica, basicamente não aparecem nas redes de fluxos tecnológicos para o Brasil, nem como transferidores e nem como absorvedores tecnológicos. O mesmo com relação a outros serviços intensivos em conhecimento, como desenvolvimento de sistemas (que só em 2014) e atividades de telecomunicações.

Os resultados apresentados mostraram algumas semelhanças e diferenças com os trabalhos empíricos de outros autores que também analisaram os fluxos tecnológicos por meio de análises de redes. Drejer (1999), por exemplo, também constatou que os setores fornecedores de tecnologia são bem mais concentrados do que os setores usuários na Dinamarca. Porém, a autora percebeu que a grande maioria dos usuários de inovação eram setores relacionados a serviços, fato este não verificado para a economia brasileira recente. Percebe-se pelas figuras anteriores o maior predomínio de setores industriais como usuários de inovação. Isso ocorre devido ao predomínio dos serviços de engenharia e P&D e da indústria química como fornecedores de P&D incorporado, que possui várias indústrias como principal destino.

Drejer (1999), Düring e Schnabl (2000) e Leoncini, Maggioni e Montresor (1996), em estudos na Alemanha, Japão e Itália, também verificaram o papel chave da indústria química, porém, adicionalmente, há um predomínio dos setores de máquinas e equipamentos e eletrônicos como disseminadores e absorvedores de inovação. Essas características não foram identificadas nos fluxos tecnológicos mais intensos da economia brasileira. Provavelmente, isso se dá devido ao baixo dinamismo tecnológico que essas indústrias possuem na economia brasileira, no qual o país é bastante dependente de tecnologias importadas de bens de capital.

4.2. Fluxos tecnológicos de Atividades Inovativas incorporadas

A Tabela 2 apresenta os valores de *output* (*out*) e *input* (*in*) das matrizes de fluxos tecnológicos binárias de Atividades Inovativas (AI) incorporadas nos fluxos interseriais para os três períodos analisados. Assim como na Tabela 1, apresenta-se os fluxos do ponto de vista dos setores com ligações a jusante. Da mesma maneira como foi analisado os fluxos de P&D incorporado, apresenta-se também o número total de ligações, os valores de centralidade da rede *out* e *in* e os valores de densidade da rede. Uma diferença importante é que os gastos em AI são bem maiores e mais homogêneos entre os setores, já que também agrega gastos menos complexos do ponto de vista da inovação. Dessa forma, o número de ligações é bem maior do que os fluxos tecnológicos com P&D incorporado.

A Tabela 2 mostra que o número de ligações para 2011 (64) é maior do que para 2014 (51) e bem maior do que em 2017 (25). Ao contrário dos fluxos de P&D, há uma tendência muito clara de perda de densidade da rede no intervalo de seis anos analisados. A densidade da rede vai de 1,8% em 2011 para apenas 0,7% em 2017. Isso é uma evidência bem mais clara de que a rede de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira vem perdendo dinamicidade ao longo do tempo quando se considera um espectro mais amplo de atividades inovativas. No entanto, assim como nos fluxos de P&D, a rede continua bastante hierarquizada do ponto de vista da transferência tecnológica quando se compara com a absorção. Isso é indicado pelos índices de centralidade da rede.

Tabela 2 - Redes de fluxos tecnológicos, atividades inovativas incorporadas, 2011-2017

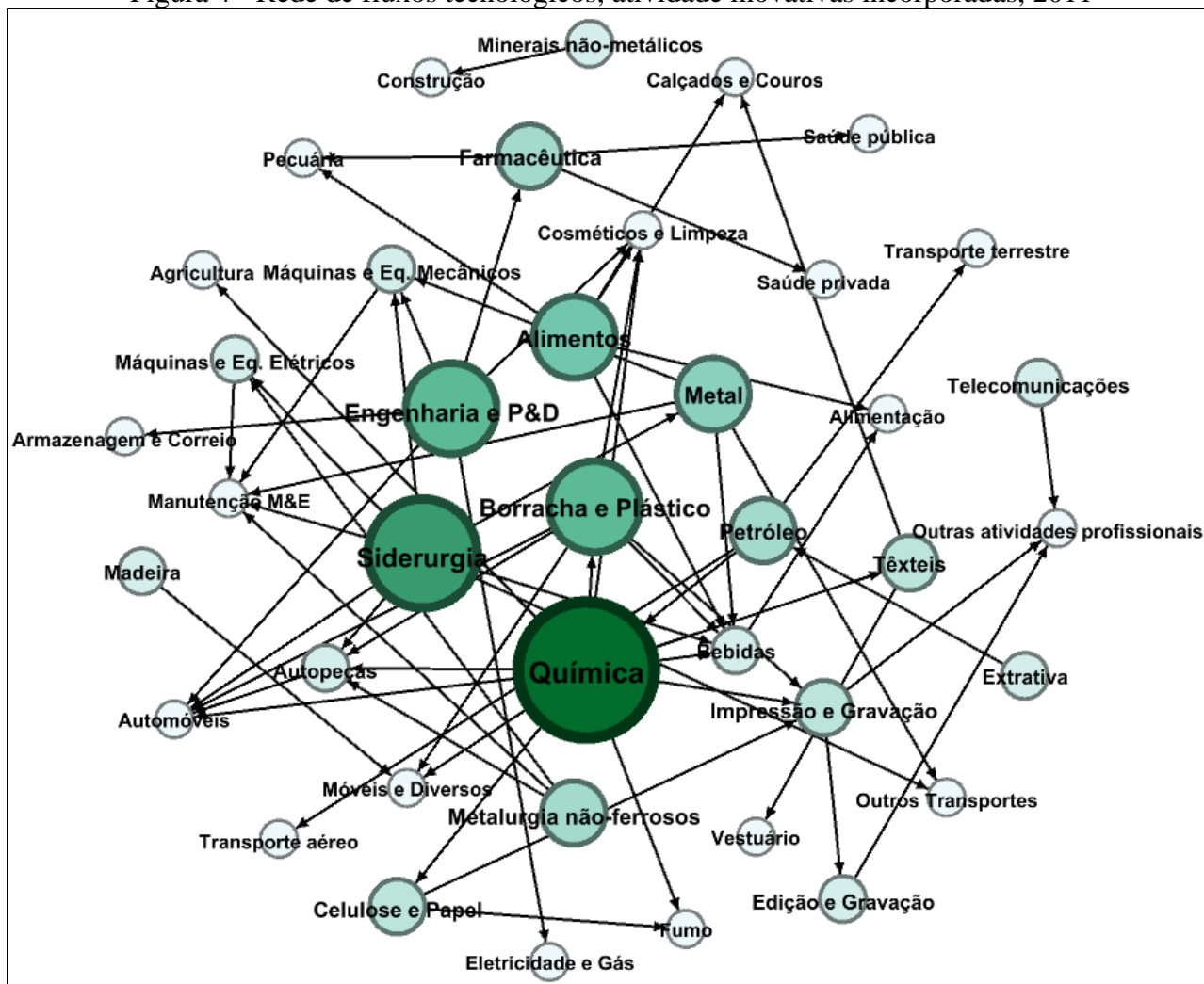
	2011		2014		2017	
	Out	In	Out	In	Out	In
Indústria Extrativa	1	0	1	0	1	0
Alimentos	5	0	4	0	2	0
Bebidas	1	5	1	2	1	2
Têxtil	2	1	2	1	1	0
Madeira	1	0	1	0	1	0
Celulose e Papel	2	1	1	1	0	0
Impressão e Gravação	2	3	1	3	0	2
Petróleo	3	1	2	1	2	1
Química	11	1	5	0	3	0
Farmacêutica	3	1	1	1	1	0
Borracha e Plástico	6	1	4	1	3	1
Minerais não-metálicos	1	0	1	0	1	0
Siderurgia	8	0	3	0	1	0
Metalurgia não-ferrosos	3	0	1	0	0	0
Metal	4	1	4	1	1	1
Máquinas e Eq. Elétricos	1	2	0	1	0	0
Máquinas e Eq. Mecânicos	1	3	1	3	1	0
Autopeças	1	4	1	2	1	0
Outros Transportes	0	2	0	1	1	0
Edição e Gravação	1	1	0	1	0	0
Telecomunicações	1	0	11	0	2	0
Desenvolvimento de sistemas	0	0	1	1	1	0
Engenharia e P&D	6	0	5	0	1	0
Total de ligações	64	64	51	51	25	25
Centralidade da Rede	0,174	0,069	0,178	0,038	0,045	0,028
Densidade da Rede	0,018		0,014		0,007	

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2 indica que algumas mudanças setoriais mais bruscas influenciaram a perda de densidade dos fluxos tecnológicos de AI incorporadas ao longo do tempo. Por exemplo, as indústrias química e siderúrgica apresentaram, respectivamente, 11 e 8 ligações a jusante em 2011, contra apenas 3 e 1 em 2017. Em 2014, há uma grande centralidade do setor de telecomunicações, que não aparece nos outros anos. Essa alta volatilidade ocorre principalmente devida a grandes mudanças nos gastos em AI desses setores. A Tabela A mostra que o gasto em AI sobre o VBP do setor de telecomunicações foi 2,5 maior em 2014 do que em 2011. No geral, a Tabela A evidência que a relação AI/VBP no Brasil foi de 0,87% em 2011 para 0,61% em 2017, uma queda bem mais significativa do que na comparação com os gastos de P&D. Por outro lado, há exceções, como ocorre com o gasto em AI dos serviços de engenharia e P&D, que foi maior em 2017 do que em 2011, não refletindo o número de ligações da Tabela 2. Isso mostra que há também grandes mudanças de fluxos entre produtores e usuários de inovação ao longo do tempo.

A Figura 4 apresenta a rede de fluxos tecnológicos de atividades inovativas incorporadas para o ano de 2011. Observa-se, como já analisado na Tabela 2, que a rede é bem mais densa e diversificada do que nos fluxos de P&D. No geral, a rede continua apresentando alta centralidade das ligações a jusante em comparação com as ligações a montante, mas com um número maior de atividades disseminadoras de inovação. Destaca-se, como setores chaves para a transferência tecnológica, as indústrias química, siderúrgica, borracha e plástico e os serviços de engenharia e P&D. Em seguida, destaca-se as indústrias de alimentos, metais, petróleo, minerais não ferrosos e farmacêutica. Já os setores que mais absorveram tecnologias de AI incorporadas foram automóveis, autopeças, bebidas, cosméticos e limpeza e manutenção de máquinas e equipamentos. Percebe-se, dessa forma, um dinamismo maior de setores que beneficiam recursos minerais quando se considera gastos gerais em atividades inovativas do que apenas P&D, que é mais restrito para setores de alta e média intensidade tecnológica.

Figura 4 - Rede de fluxos tecnológicos, atividade inovativas incorporadas, 2011



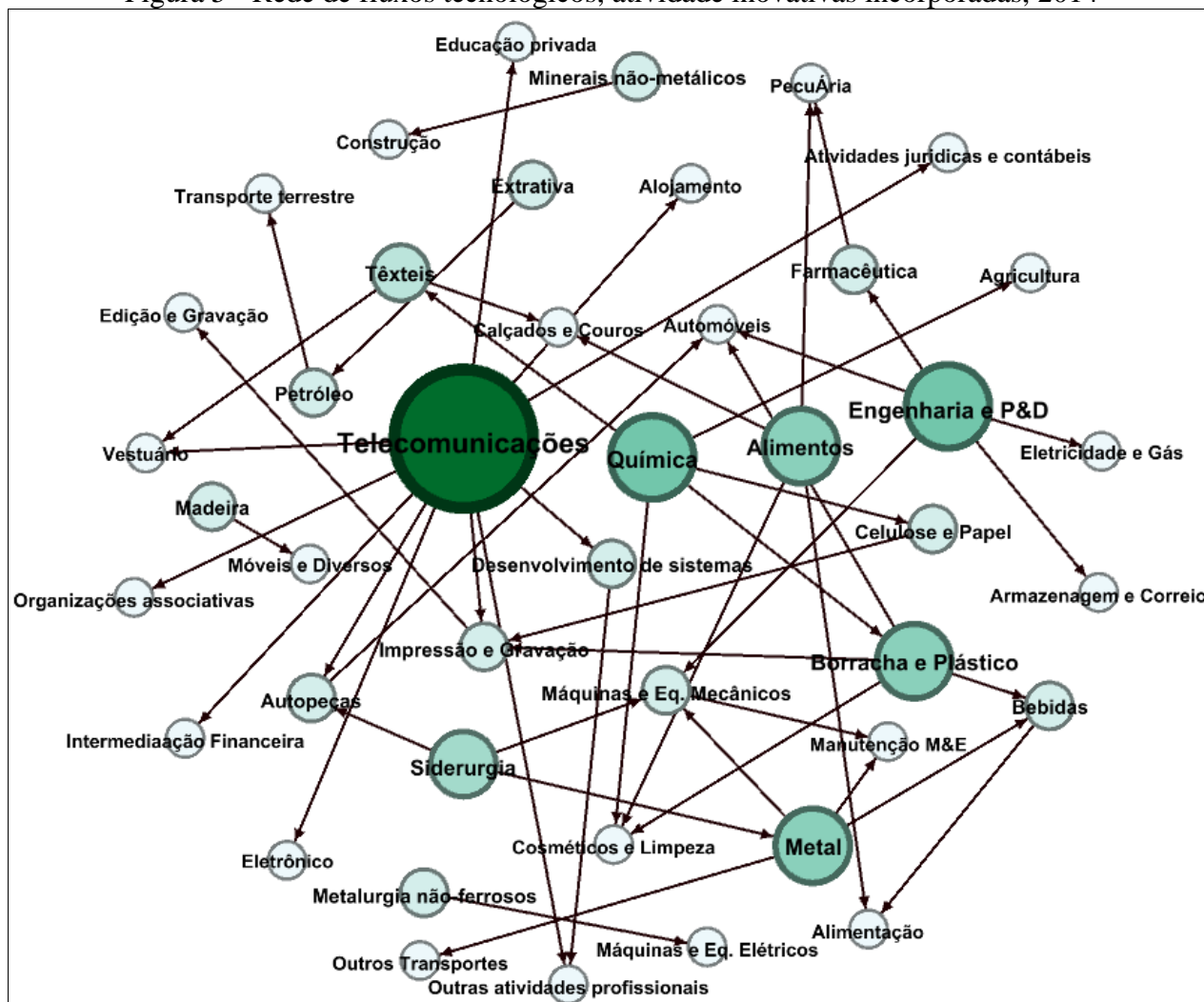
Nota: os tamanhos dos nós (setores) são proporcionais à intensidade de gasto em P&D e a escala de cores dos nós são mais fortes de acordo com o número de ligações a jusante. Rede criada por meio do *software* Gephi.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5 apresenta a rede de fluxos tecnológicos de atividades inovativas incorporadas para 2014. A rede possui mudanças significativas com relação a 2011, trocando a centralidade da indústria química para o setor de telecomunicações. Como analisado na Tabela 2, os gastos em AI das telecomunicações foram bem maiores em 2014 do que nos demais anos. Como se trata de um serviço de muitas ligações a jusante com outros setores, isso impactou na centralidade das telecomunicações como o setor chave para a transferência tecnológica no ano em questão. Ocorre que, como se observa nas Figuras 4 e 6, o grande impacto das telecomunicações é caracterizado mais como uma exceção do que a regra.

A Figura 5 ainda identifica que outros setores chaves do ponto de vista da disseminação de tecnologias foram as indústrias química, de alimentos, borracha e plástico, metal e serviços de engenharia e P&D. Setores estes que também apareciam em 2011. Já do ponto de vista da absorção de tecnologia, destacam-se as indústrias de cosméticos e limpeza, máquinas e equipamento mecânicos, automóveis e serviços de impressão e gravação. Como a rede é menos densa do que em 2011, constata-se menos setores que se beneficiam da utilização de atividades inovativas incorporadas nas transações intersetoriais.

Figura 5 - Rede de fluxos tecnológicos, atividade inovativas incorporadas, 2014



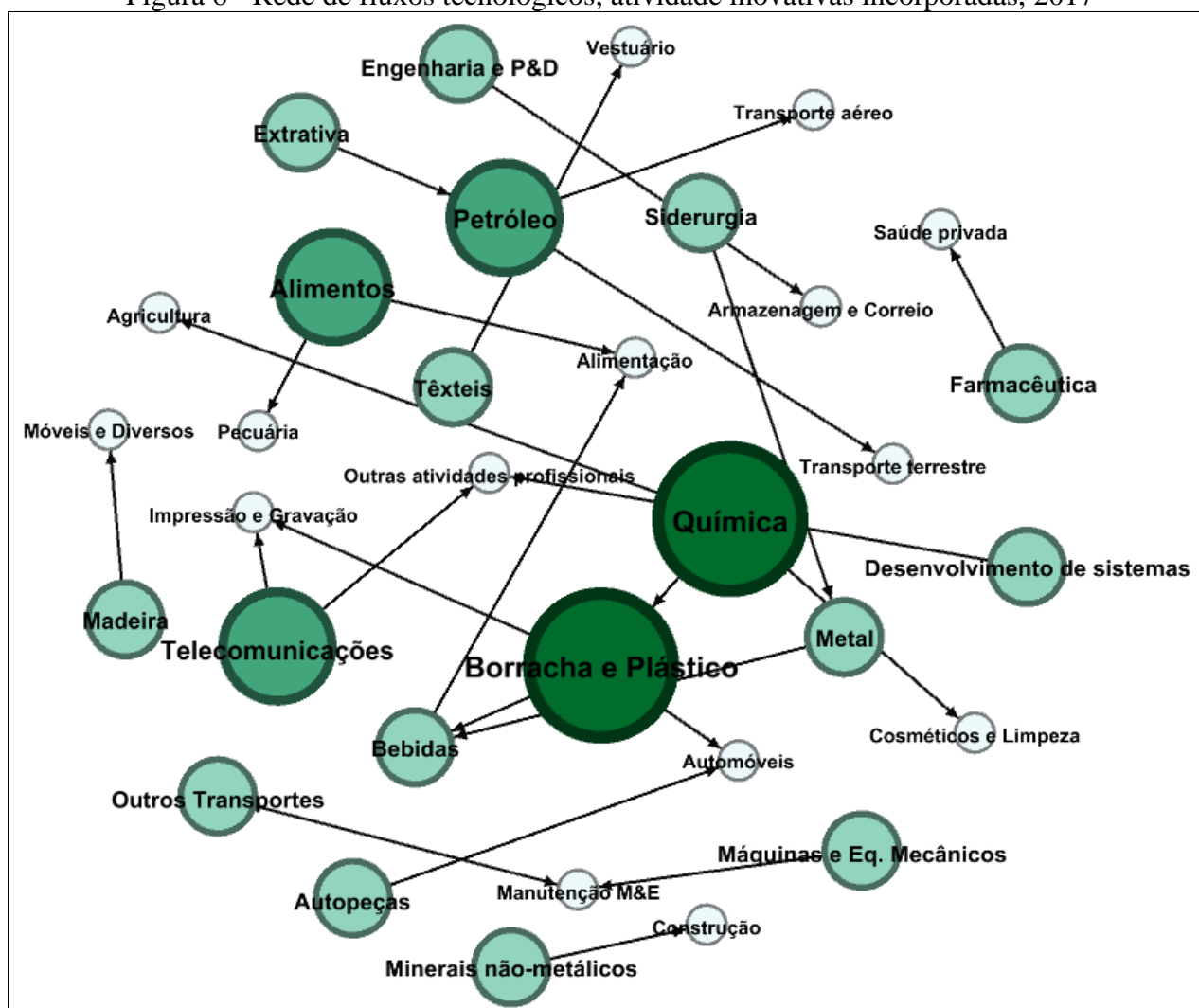
Nota: os tamanhos dos nós (setores) são proporcionais à intensidade de gasto em P&D e a escala de cores dos nós são mais fortes de acordo com o número de ligações a jusante. Rede criada por meio do *software* Gephi.

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a Figura 6 apresenta a rede de fluxos tecnológicos de atividades inovativas incorporadas para 2017. A densidade da rede é bem menor do que nos outros anos, nos quais os setores centrais (química e borracha e plástico) possui bem menos ligações a jusante do que nas Figuras 4 e 5. Outros setores chaves que se destacam como disseminadores tecnológicos são petróleo, alimentos e telecomunicações, embora com ligações menores do que os outros anos. Como usuários de inovação, destaca-se as indústrias de bebidas, automóveis, manutenção de máquinas e equipamentos e serviços de impressão e gravação.

Para todos os anos, foi possível constatar a centralidade das indústrias química e de borracha e plástico como centrais para a difusão de atividades inovativas incorporadas nos bens transacionados na economia brasileira. Percebe-se a perda de centralidade dos serviços de engenharia e P&D, principalmente em 2017, que estão mais relacionados com os fluxos de P&D incorporados. Já do ponto de vista da absorção tecnológica por meio de AI, destaca-se para todos os anos a indústria de automóveis. Outros estudos que analisaram os fluxos tecnológicos utilizam como variável *proxy* de inovação os gastos em P&D e não os gastos mais gerais de atividades inovativas, o que impossibilita a discussão desses resultados com a literatura.

Figura 6 - Rede de fluxos tecnológicos, atividade inovativas incorporadas, 2017



Nota: os tamanhos dos nós (setores) são proporcionais à intensidade de gasto em P&D e a escala de cores dos nós são mais fortes de acordo com o número de ligações a jusante. Rede criada por meio do *software* Gephi.
 Fonte: Elaboração própria.

5. Considerações finais

Este artigo propôs mapear estruturalmente a interdependência tecnológica setorial da economia brasileira a fim de identificar o seu perfil e os setores-chaves do ponto de vista da tecnologia ou do conhecimento. Para isso, foram estimados os fluxos tecnológicos de P&D e atividades inovativas (AI) incorporados nas transações intersetoriais para os anos 2011, 2014 e 2017. Isso foi feito com base na abordagem metodológica de setores verticalmente integrados e análises de redes por meio de matrizes estimadas de insumo-produto. As análises mostraram algumas evidências conjunturais de fluxos tecnológicos para alguns determinados anos, porém, foram ainda mais ressaltadas as características estruturais de interdependência tecnológica setorial ao longo dos anos. As principais evidências são compiladas a seguir.

Em primeiro lugar, a estrutura de interdependência tecnológica setorial com base em P&D da economia brasileira entre 2011 e 2017 apresentou mais estabilidade do que modificações ao longo do tempo. Isso é evidenciado por meio da densidade das redes, que pouco variaram entre os anos. Isso acontece por dois motivos. Primeiro, isso é sinal de baixa mudança estrutural da economia brasileira durante esse período, com estabilidade nos fluxos comerciais representados pelas matrizes de insumo-produto. Segundo, pela estabilização com tendência de queda na intensidade dos gastos em P&D de toda a economia, o que não permite o aumento da densidade (complexidade) da rede de fluxos tecnológicos mais sofisticados.

Em segundo lugar, a estrutura de interdependência tecnológica setorial com base em gastos mais amplos de atividades inovativas da economia brasileira no período analisado apresentou clara tendência de perda de dinamismo. Ao contrário dos gastos em P&D, a densidade das redes de fluxos de AI incorporadas diminuiu de forma significativa entre 2011 e 2017. Isso ocorreu devido a maior volatilidade desse tipo de gasto inovativo para alguns setores. Como se trata de um conjunto muito mais amplo de investimentos que ocorrem na maioria dos setores, questões conjunturais de baixo crescimento econômico no Brasil nesse período influenciaram mais os gastos em AI do que os gastos em P&D, que tendem a ser mais concentrados em alguns setores. Entre 2011 e 2017, a intensidade dos gastos em AI no Brasil caíram quase 30%, magnitude muito mais expressiva do que a queda dos gastos em P&D.

Em terceiro lugar, foi possível identificar que o setor-chave do ponto de vista da transferência de tecnologia incorporada em P&D e AI foi a indústria química. Quando se observa o P&D incorporado nas transações intersetoriais, maior destaque se dá nos serviços de engenharia e P&D. Já para as atividades inovativas, destaque se dá também para a indústria de borracha e plástico. Já identificação de setores-chaves do ponto de vista da absorção de tecnologia incorporada é mais difícil, pois as ligações a montante apresentaram maior dispersão (menor centralidade). Mesmo assim, é possível perceber uma importância maior da indústria de automóveis devido ao perfil desse setor de possuir maiores encadeamento para trás. Dessa maneira, estímulos na demanda desses setores com alta absorção tecnológica poderiam potencialmente aumentar o investimento em P&D ou atividades inovativas de toda a economia, já que suas relações intersetoriais demandariam tecnologia incorporada de uma gama maior de outros setores. No entanto, os canais de transmissão de aumento em esforços inovativos de uma economia são mais complexos e incertos e devem também depender da estrutura técnico científica e de políticas pelo lado da oferta.

Por fim, deve-se chamar atenção para uma limitação do estudo quanto a falta de uma mensuração dos fluxos tecnológicos importados, principalmente de bens de capital, que devem apresentar relações importantes e específicas para a estrutura de interdependência tecnológica setorial da economia brasileira.

Referências

ALVES-PASSONI, P.; FREITAS, F. **Estimação de Matrizes Insumo-Produto anuais para o Brasil no Sistema de Contas Nacionais Referência 2010**. Texto para Discussão, 025/2020, Instituto de Economia, UFRJ. 2020.

ANDERSEN, E. S. Approaching national systems of innovation from the production and linkage structure. In: LUNDEVALL, B. A. **National systems of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning**. London: Anthem Press: 2010.

ARCHIBUGI, D. In search of a useful measure of technological innovation (to make economists happy without discontending technologists). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 34, p. 253-277, 1988.

DREJER, I. Comparing patterns of industrial interdependence in national systems of innovation: a study of Germany, the United Kingdom, Japan and the United States. **Economic Systems Research**, v. 12, n. 3, p. 377-399, 2000.

DÜRING, A.; SCHNABL, H. Imputed interindustry technology flows: a comparative SMFA analysis. **Economic System Research**, v. 12, n. 3, p. 363-375, 2000.

GRIJÓ, E. BÊRNI, D.A. Metodologia completa para a estimativa de matrizes de insumo-produto. **Teoria e evidência econômica**, v. 14, n. 26, p. 9-42, 2006.

GRILICHES, Z. Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth. **Bell Journal of Economics**, v. 10, n. 1, p. 92-116, 1979.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 2, p. 277-299, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. **Matriz de Insumo-Produto:** Brasil: 2010. Coordenação de Contas Nacionais. Rio de Janeiro: IBGE, 2016a.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. **Pesquisa de Inovação:** 2014. Coordenação de Indústria. Rio de Janeiro: IBGE, 2016b.

LEONCINI, R.; MAGGIONI, M. A.; MONTRESOR, S. Intersectoral innovation flows and national technological systems: network analysis for comparing Italy and Germany. **Research Policy**, v. 25, n. 3, p. 415-430, 1996.

LEONCINI, R.; MONTRESOR, S. **Technological systems and intersectoral innovation flows.** Cheltenham: Edward Elgar, 2003.

LUNDEVALL, B. A. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G e SOETE, L. **Technical change and economic theory**, Pinter, London, 1988.

LUNDEVALL, B. A.; JOHNSON, B.; ANDERSEN, E. S.; DALUM, B. National systems of production, innovation and competence building. **Research Policy**, v. 31, p. 213-231, 2002.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions.** 2 ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy**, v. 31, p. 247-264, 2002.

MARENGO, L.; STERLACCHINI, A. Intersectoral technology flows: methodological aspects and empirical applications. **Metroeconomica**, v. 41, n. 1, p. 19-39, 1990.

MARTINEZ, T. S. **Método RAWS/RAW para estimação anual da Matriz de Insumo-Produto na referência 2000 das Contas Nacionais.** Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília, Rio de Janeiro: IPEA, 2015.

MOMIGLIANO, F.; SINISCALCO, D. Technology and international specialization. **BNL Quarterly Review**, n. 150, p. 257-284, 1984.

PAPACONSTANTINOU, G.; SAKURAI, N.; WYCKOFF, A. Domestic and international product-embodied R&D diffusion. **Research Policy**, v. 27, p. 301-314, 1998.

PASINETTI, L. L. The notion of vertical integration in economic analysis. **Metroeconomica**, vol. 25, p. 1-25, 1973.

PAVITT, K. Sectorial patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, n. 6, p. 343-373, 1984.

ROSENBERG, N. Technological interdependence in the American economy. **Technology and Culture**, v. 20, n. 1, p. 25-50, 1979.

SCHNABL, H. The evolution of production structures, analyzed by a multi-layer procedure. **Economic Systems Research**, v. 6, n. 1, p. 51-68, 1994.

SCHNABL, H. The subsystem-MFA: a qualitative method for analyzing national innovation systems - the case of Germany. **Economics Systems Research**, v. 7, n. 4, p. 383-396, 1995.

SCHMOOKLER, J. **Invention and economic growth.** Harvard: Harvard University Press, 1966.

SCHERER, F. M. Inter-industry technology flows and productivity growth, **Review of Economics and Statistics**, v. 64, p. 627-634, 1982.

SCHERER, F. M. Technology Flows Matrix Estimation Revisited. **Economic Systems Research**, v. 15, n 3, 2003.

SRAFFA, P. **Production of commodities by means of commodities.** Cambridge: Cambridge University Press, 1960.

Anexos

Tabela A - Gastos em P&D e em atividades inovativas em relação ao valor bruto da produção (VBP), 2011-2017 (%)

	P&D/VBP			Atividades inovativas/VBP		
	2011	2014	2017	2011	2014	2017
Indústria Extrativa	0,17	0,19	0,27	0,29	0,55	0,50
Alimentos	0,12	0,15	0,18	2,00	1,36	1,02
Bebidas	0,22	0,09	0,12	2,24	3,01	1,39
Fumo	0,49	0,48	0,58	1,68	1,08	1,13
Têxteis	0,21	0,12	0,10	1,67	1,56	0,62
Vestuário	0,11	0,17	0,14	1,11	1,29	0,99
Calçados e Couros	0,46	0,64	0,58	1,97	1,63	1,04
Madeira	0,26	0,17	0,15	2,63	2,20	1,33
Celulose e Papel	0,39	0,38	0,33	1,86	1,67	1,40
Impressão e Gravação	0,05	0,27	0,09	4,82	2,13	1,12
Petróleo	0,87	0,67	0,47	1,64	1,21	0,85
Química	0,61	0,75	0,69	1,76	1,60	1,26
Cosméticos e Limpeza	4,70	1,18	0,72	6,66	3,98	6,51
Farmacêutica	2,15	2,17	2,33	4,32	4,03	3,53
Borracha e Plástico	0,43	0,45	0,48	2,75	2,03	2,05
Minerais não-metálicos	0,20	0,31	0,54	1,77	2,52	1,49
Siderurgia	0,31	0,33	0,47	2,55	1,74	1,03
Metalurgia não-ferrosos	0,73	0,40	0,20	4,29	1,24	0,64
Metal	0,34	0,22	0,24	2,28	2,20	1,59
Eletrônico	1,39	1,72	1,22	3,23	3,09	3,16
Máquinas e Eq. Elétricos	1,06	1,91	0,99	2,90	3,05	2,01
Máquinas e Eq. Mecânicos	0,70	0,77	0,73	2,01	2,09	1,63
Automóveis	1,49	1,18	0,93	2,99	2,27	2,40
Autopeças	1,05	1,09	1,11	2,04	2,91	2,61
Outros Transportes	1,76	2,30	5,50	3,98	10,41	7,93
Móveis e Diversos	0,18	0,38	0,35	1,83	1,88	1,58
Manutenção M&E	0,04	0,30	0,13	0,85	0,88	0,60
Eletricidade e Gás	0,20	0,16	0,13	1,08	0,55	0,61
Edição e Gravação	0,14	0,17	0,21	2,39	1,32	0,97
Telecomunicações	0,73	0,31	0,26	3,62	9,12	5,44
Desenvolvimento de sistemas	1,11	1,64	1,46	2,79	2,85	2,48
Engenharia e P&D	4,48	5,15	8,49	7,56	5,90	9,21
Total	0,27	0,25	0,23	0,87	0,82	0,61

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2016a, 2016b).