



Texto para Discussão 002 | 2019

Discussion Paper 002 | 2019

Análise estrutural da economia brasileira entre 2000 e 2015: um enfoque a partir da teoria das redes

Kaio Glauber Vital da Costa

Professor Adjunto do Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE-UFRJ)

Pesquisador do Grupo de Indústria e Competitividade (GIC/IE -UFRJ).

This paper can be downloaded without charge from

<http://www.ie.ufrj.br/index.php/index-publicacoes/textos-para-discussao>

Análise estrutural da economia brasileira entre 2000 e 2015: um enfoque a partir da teoria das redes

Janeiro, 2019

Kaio Glauber Vital da Costa

Professor Adjunto do Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE-UFRJ)

Pesquisador do Grupo de Indústria e Competitividade (GIC/IE -UFRJ).

Resumo

O estudo sistemático do modo pelo qual as transações intersetoriais são organizadas é uma interessante fonte de informação a respeito do padrão de relações econômicas existentes em uma economia, que permite realizar comparações de suas características estruturais com aqueles presentes em outras economias. No presente estudo, propomos a aplicação de um conjunto de novos indicadores derivados da teoria das redes sociais em um contexto de insumo-produto. O objetivo é analisar a complexidade das relações de interdependência existentes na estrutura produtiva brasileira entre 2000 e 2015 a partir de indicadores da teoria das redes sociais. Os resultados indicam que a estrutura produtiva brasileira passou por diversas mudanças na rede de interrelações setoriais, como perda de densidade e no grau de agrupamento entre os setores. Além disso, a rede produtiva tornou-se mais concentrada em torno de um pequeno número de setores *hubs*.

Palavras-chave: Insumo-produto; teoria das redes; estrutura produtiva

Abstract

One of the fundamental aspects that enables in-depth knowledge of an economy is the realization of an analysis of its productive structure. The study of an economy can be approached from very different perspectives, one of which is the input-output approach, which allows to analyze together the intersectoral relations of an economy and its aggregate demand, with which there is an integrated knowledge of the economic activity. We consider the theory of networks as an important "tool", in our opinion little exploited in the economic field, which constitutes a general frame of study within which we can frame the input-output analysis. This theory makes it possible to simplify the scheme of relations that arose between the sectors of an economy and, therefore, favor the understanding of it. The objective of this paper is to analyze interindustry relations from the perspective of social network theory.

Key-words: Input-output; network theory; productive structure

JEL Classification: C67; D85; L16.

1 Introdução

A análise qualitativa a partir de matrizes de insumo-produto oferece uma perspectiva metodológica de estudo das estruturas produtivas das economias, que permite obter uma imagem gráfica da maneira pela qual os setores se inter-relacionam no sistema econômico (Huriot, 1974; Campbell, 1975; Holub e Schnabl, 1985; Aroche, 2003, 2006; McNerney, Fath e Silverberg, 2013). Mais recentemente, essa análise foi ampliada para incorporar o conceito de “redes econômicas”, retomando conceitos e métodos originalmente desenvolvidos por outras ciências sociais, como a antropologia e a sociologia (García, Morillas e Carvajal, 2008; García, 2013; Fuentes, Cárdenas e Brugués, 2013). Para formalizar essas ideias intuitivas, uma compreensão mais profunda das estruturas das economias nacionais parece ser justificada. Qualquer economia nacional é um sistema complexo na qual muitos agentes de diferentes tamanhos interagem comprando e vendendo bens e serviços. Schweitzer et al. (2009) sugerem que uma compreensão dessas interações em um nível sistêmico pode ser obtida pela análise das redes complexas subjacentes a esses sistemas econômicos. Durante a última década, a análise de redes foi aplicada com sucesso em física, biologia e ciências sociais (Vega-Redondo, 2007; Newman, 2003; Albert e Barabási, 2002; Dorogovtsev e Mendes, 2003)

A literatura sobre redes econômicas está crescendo rapidamente. Vários autores estudaram redes de comércio internacional. Os trabalhos iniciais utilizaram abordagens binárias (Garlaschelli e Loffredo, 2005; Serrano e Boguñá, 2003), mas logo ficou evidente que o comércio deveria ser analisado como uma rede ponderada (Bhattacharya et al., 2008; Baskaran et al., 2011; Fagiolo, Reyes e Schiavo, 2008). Ao interpretar o Produto Interno Bruto (PIB) como o potencial econômico de um país, Garlaschelli e Loffredo (2005) propuseram um modelo reproduzindo a topologia do comércio bilateral. Um modelo de gravidade tem sido usado para entender redes de comércio ponderadas (Bhattacharya et al., 2008). Além disso, redes de inovação (Koenig et al., 2008), o “espaço do produto” (Hidalgo et al., 2007), redes de propriedade (Glattfelder e Battiston, 2009) e conexões entre bancos (Iori et al., 2008) foram estudadas. Recentemente, (Battiston, Rodrigues e Zeytinoglu, 2007) analisaram as existências de investimento, tanto ao nível das empresas como agregadas ao nível das regiões. (Lorenz, Battiston e Schweitzer, 2009) desenvolveram um modelo geral para entender o risco sistêmico; eles investigaram falhas

em cascata dentro de sistemas de muitos agentes interagindo (em rede) como firmas, bancos e fundos. Finalmente, (Grassi, 2010) estudou o fluxo de informações entre os membros do conselho de diferentes empresas.

Como apontado por McNerney, Fath e Silverberg (2013), em uma matriz de insumo-produto os setores estão ligados por meio de relações de demanda e oferta de bens produzidos. Essas interdependências não são exibidas no mesmo grau por todos os setores. Os padrões de compra e venda de muitos setores individuais podem refletir tendências semelhantes, enquanto para outros seus padrões podem ser totalmente diferentes. Além disso, para outros setores, os padrões de compra podem ser idiossincráticos, mas os padrões de venda podem refletir tendências encontradas em muitos setores, e assim por diante (Hewings et al., 1998a, 1998b). Assim, seria possível encontrar hierarquias entre setores, bem como esquemas posicionais para cada um deles, determinados pelas conexões de demanda e oferta que cada um mantém com o resto. A pesquisa sobre os padrões desses esquemas será útil para entender os sistemas econômicos e sua complexidade (García, 2013).

Como apontado por (García e Carvajal, 2003), apesar de suas limitações, existe um relativo consenso sobre o adequado comportamento dos coeficientes clássicos de Chenery e Watanabe (1958), Hirschman (1961), Rasmussen (1956) ou Streit (1969), a análise das relações intersetoriais e sua interdependência dentro da estrutura produtiva em questão. Essas medidas permitem obter uma visão geral da economia regional ou nacional, uma vez que informam sobre as relações diretas e indiretas entre os setores produtivos. Diante dessa perspectiva clássica de análise insumo-produto, utilizaremos uma metodologia alternativa de modo a analisarmos as relações intersetoriais da economia brasileira. Esse novo enfoque é derivado da teoria das redes aplicada no marco da análise de insumo-produto (García e Carvajal, 2003). De acordo com (Fuentes, Cárdenas e Brugués, 2013), essa nova aproximação às relações intersetoriais fornece uma visão mais completa do funcionamento do sistema produtivo, uma vez que levam em consideração não apenas os pesos dos setores, como na análise clássica, mas também a intensidade e o posicionamento dos setores dentro da rede.

No presente estudo, propomos a aplicação de um conjunto de indicadores estruturais às matrizes de insumo-produto da economia brasileira no período de 2000 a 2015. Os

indicadores utilizados são derivados da teoria das redes e têm por objetivo mostrar, em nível agregado, como a estrutura produtiva se comportou durante um período de rápidas transformações na economia doméstica e em seu comércio exterior. A utilização desses indicadores para uma série temporal de matrizes de insumo-produto visa lançar luz, a partir um novo enfoque metodológico, a respeito do comportamento da estrutura produtiva brasileira durante esse período.

O estudo está dividido em três seções, além desta introdução e das conclusões. Na seção 2, expomos os principais conceitos derivados da teoria das redes, de modo a facilitar o entendimento dos resultados empíricos. Em seguida, na seção 3, apresentamos a base de dados que será utilizada para o cálculo dos indicadores estruturais de teoria das redes. Por fim, a seção 3 apresenta os resultados do estudo.

2 Conceitos e noções fundamentais de teoria de redes

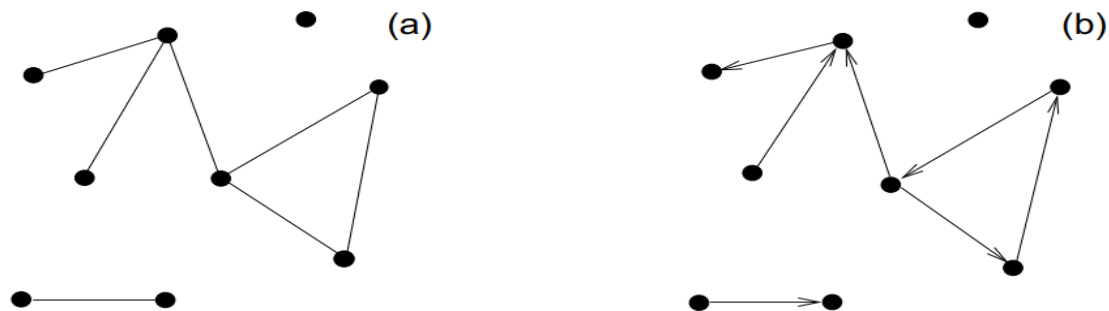
Para estudar as interconexões entre os agentes, os estudos econômicos vêm fazendo uso progressivo de ferramentas de análise de redes¹. O apelo da análise de redes para estudar as relações econômicas vem da capacidade de identificar toda a estrutura das interações que ocorrem entre um conjunto dado de agentes econômicos: firmas, bancos, setores ou mesmo países. As redes assumem a interdependência dos elementos e exploram todo o padrão de conexões, em vez de se concentrarem nas características isoladas de cada elemento individual. A pesquisa em redes aponta para a aplicação de várias medidas de modo examinarmos analiticamente as propriedades estatísticas em larga escala das redes e resumir as suas principais características em um nível agregado. Além disso, a visualização da estrutura da rede, usando gráficos que contêm a arquitetura de nós ligados por arestas, é uma ferramenta útil para facilitar a interpretação de interligações complexas, permitindo também o estudo das propriedades dos agentes individuais dentro da rede.

Uma rede pode ser intuitivamente entendida como um conjunto de pontos ou vértices e um conjunto de linhas ou arcos ligando aqueles pontos². Redes com arcos não orientados são chamadas de redes não orientadas (Figura 1.a), enquanto redes com arcos orientados são chamadas de redes orientadas (Figura 1.b).

¹ De acordo com García e Carvajal (2003), o estudo de uma rede social é realizado fundamentalmente a partir de dois grandes grupos de técnicas estreitamente relacionadas: a teoria dos grafos e a teoria das matrizes. Ambas as abordagens permitem representar e descrever uma rede de uma maneira sistemática, de modo que possibilitam uma aproximação mais simples ao estudo das mesmas.

² Nesta seção, utilizamos apenas as redes dirigidas ou orientadas. Isto porque se desejamos conhecer os fluxos de transações de compra e venda entre os setores, é imprescindível saber quais destes setores são impulsores e quais são receptores destes fluxos.

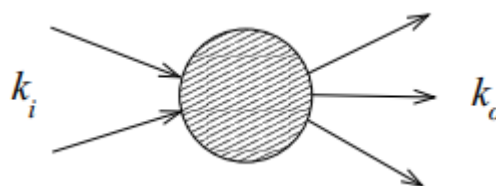
Figura 1. Exemplos de redes não orientadas e redes orientadas



Fonte: elaboração própria. A) exemplo de uma rede não-orientada e B) rede orientada³.

O número total de conexões de um vértice é chamado seu grau k (Figura 2). Em uma rede orientada, o número de arcos chegando em um dos vértices é chamado de *in-degree* (k_i) e o número de arcos partindo de determinado vértice é chamada de *out-degree* (k_o), de modo que $k = k_i + k_o$ é o número total de conexões de um vértice.

Figura 2 – Representação das entradas e saídas de um vértice



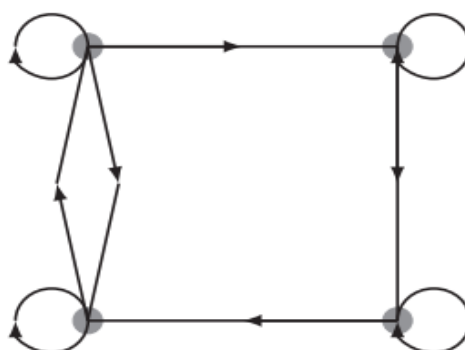
Fonte: elaboração própria.

³ Em termos formais, uma rede orientada G consiste de um conjunto finito V de elementos chamados vértices e um conjunto E de pares ordenados chamados arcos (orientados ou dirigidos). A ordem da rede orientada G é o número $|V|$ de seus vértices. Se $\alpha = (x, y)$ é um arco, então x é o vértice inicial e y é o vértice final e dizemos que α é um arco orientado de x a y . No caso de $x = y$, α é um *loop* (ou laço), no qual os vértices inicial e final são ambos iguais a x . Uma rede ponderada é aquela na qual para cada arco é assinalado um peso (Brualdi e Cetkovic, 2009). A rede $G = (V, E)$ descreve o conjunto de relações diádicas entre os vértices, com $E_{ij} \in \{0,1\}$. Se adicionarmos mais informações a respeito dos arcos ou vértices, a rede torna-se uma rede ponderada: $N = (G(V, E), W, P)$. O elemento w_{ij} age como um peso diádico sobre G , transformando a rede simples em uma rede ponderada e orientada. Onde w_{ij} indica a força de ligação entre i e j . O elemento P pode incluir valores específicos ao país, como renda ou coordenadas geográficas. Então, traçando um paralelo com a economia, podemos dizer que os vértices são os setores e os arcos são os fluxos que medem a venda e compra de bens e serviços entre e dentro dos setores ou a relação técnica existente entre esses setores.

Cada setor corresponde a um vértice e o fluxo da atividade econômica de um setor para outro constitui um arco direcionado e ponderado. Na teoria das redes complexas, identificar setores-chave e classificar os papéis dos setores em uma economia é a tarefa de aplicar uma medida apropriada de centralidade de vértices a esse gráfico de insumo-produto.

As figuras 1 e 2 mostraram uma representação gráfica de redes simples, nas quais em um mesmo vértice não poderia ocorrer a chegada e/ou partida de múltiplos arcos. Contudo, na maior parte das análises de insumo-produto, a estrutura de trocas de uma economia é caracterizada precisamente pela capacidade que um setor (ou vértice) tem de receber ou enviar múltiplos fluxos de bens e serviços aos demais setores. A figura 3 apresenta um exemplo de uma rede na qual de um mesmo setor podem partir e chegar múltiplos fluxos. Como podemos observar, agora temos duas novas características relativamente às figuras 1 e 2: i) múltiplos fluxos partindo e chegando em um mesmo vértice e ii) *loops* (ou laços) nos vértices. Intuitivamente, podemos pensar um *loop* como o autoconsumo dos setores, ou seja, aquela parte da produção que é produzida e consumida no interior de um mesmo setor.

Figura 3 - Rede representativa de uma estrutura de trocas mais complexa



Fonte: elaboração própria

A representação gráfica dessas relações estabelecidas nas figuras mostradas anteriormente está baseada nas tabelas de insumo-produto. Essas tabelas apresentam os fluxos totais (monetários) entre os diversos setores ou as relações técnicas a partir da matriz de coeficientes técnicos. Os arcos que ligam os diversos setores indicam a existência de um fluxo monetário e/ou de uma relação técnica entre um conjunto dado de

setores. Essas relações econômicas podem ser traduzidas à linguagem da teoria das redes a partir da construção de matrizes binárias ou matrizes de adjacência. As matrizes de adjacência são arranjos binários, ou seja,

$$\begin{cases} e_{ij} = 1, & \text{se existe uma relação entre os setores ou vértices } i \text{ e } j; \\ e_{ij} = 0, & \text{se não existe relação entre } i \text{ e } j. \end{cases}$$

Como apontado por Aroche (2006), convencionalmente a análise qualitativa de insumo-produto é realizada a partir de algum procedimento de “filtragem” dos maiores coeficientes técnicos (a matriz A) ou os maiores fluxos monetários entre os setores. Aqueles coeficientes maiores do que o filtro selecionado, digamos f , são igualados a 1. O arranjo final passa a ser visto como uma matriz de adjacência anexada à rede orientada da estrutura principal da economia. Em outras palavras, a matriz binária mostra uma entrada positiva na célula (i, j) se a demanda do setor j pelo insumo do setor i é igual ou excede aquele filtro f . Ainda de acordo com Aroche (2006), esse filtro fixa o *threshold* que define o tamanho daquelas demandas intermediárias mais importantes na economia⁴. Nesse estudo, utilizamos redes ponderadas associadas com coeficientes de insumo-produto, de modo a evitar as críticas usuais a respeito do uso de análises qualitativas no campo de insumo-produto (De Mesnard, 2001).

Para Aroche (2006), à medida em que a estrutura produtiva evolui, ela torna-se mais complexa e o número de ligações entre os setores tenderá a aumentar. Então, a rede associada à economia mostrará um crescente número de arcos de influência, enquanto os setores tornam-se mais estreitamente interdependentes. Contudo, para algumas

⁴ Em termos qualitativos, um setor j está influenciando um setor i se $e_{ij} \geq f$, onde f é o valor do filtro (De Mesnard, 2001). Isso significa que uma matriz de insumo-produto pode ser interpretada como uma rede de influências econômicas entre os setores. Lantner e Lebert (2015), Lantner e Lebert (2013) e Lantner (1974) mostram que é possível construir uma ponte entre a metodologia de insumo-produto e a teoria das redes, de modo a estudar as relações existentes em dada estrutura de trocas (comercial, intersetorial e/ou informacional). Esses dois autores utilizam uma abordagem específica dentro da teoria das redes, a teoria das redes de influência ou grafos de influência.

economias, a evolução poderá significar que as ligações interindustriais crescem seletivamente, possivelmente aprofundando em algumas linhas produtivas nas quais a economia se especializará e perdendo aquelas ligações associadas a setores de fora desse grupo. Teríamos uma situação na qual a rede seria menos complexa, mas as conexões seriam provavelmente mais fortes⁵.

⁵ A especificidade da teoria é que a relação entre dois elementos i e j não pode ser analisada de forma isolada, mas em sua dimensão estrutural, isto é, levando em consideração o efeito que um elemento z tem na relação entre i e j . A implicação dessa “visão estrutural” é que a relação entre i e j não pode ser considerada independentemente da relação i e z e entre j e z . Portanto, a característica da interdependência é o foco da análise de redes.

3 Fonte de dados e metodologia dos indicadores

A matriz de coeficientes técnicos, A , é uma matriz de adjacência de uma rede cujos vértices são os setores de uma economia. Seus arcos quantificam a intensidade das relações econômicas entre e dentro dos setores. No presente estudo, vamos nos concentrar nessa tabela de coeficientes técnicos. Essa matriz registra os requerimentos técnicos existentes entre os diversos setores que compõem a estrutura produtiva do país. A fonte dos dados para esses coeficientes técnicos são as matrizes de insumo-produto de 2000, 2005 e 2010, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE). Para termos uma série temporal consistente foi necessária a utilização do método RAS para retropolar as matrizes, isto é, criar uma série temporal de tabelas de insumo-produto. Em seguida, procedeu-se a agregação para um mesmo nível, uma vez que as matrizes estavam em diferentes níveis de agregação. As matrizes de 2000 e 2005 encontram-se no nível de 55 setores, enquanto a matriz de 2010 está no nível de 67 setores. Depois de realizada os procedimentos de agregação das matrizes para um mesmo nível, as matrizes de 2000 a 2015 foram agregadas para o nível de 42 setores. Esses dois procedimentos permitiram a obtenção de uma serie temporal para analisar a estrutura produtiva brasileira, com uma metodologia logicamente consistente.

A construção de uma rede requer a identificação de um conjunto de vértices e um critério para a interação entre eles, que definirá os arcos e seus respectivos pesos. Nesse estudo, os vértices são os 42 setores que estão presentes nas matrizes de insumo-produto entre 2000 e 2015 ($N = 42$). O critério para a existência de um arco é definido de modo a refletir a importância de um setor fonte i como um ofertante para a produção de um setor demandante j . Com o propósito de definir quais são os principais setores ofertantes ou as principais relações técnicas, é estabelecido um filtro (ou *threshold*) para obtermos uma matriz de adjacência incompleta. O filtro escolhido é igual ou superior a $f \geq 0.01$. Em outras palavras, a matriz de coeficientes técnicos e a sua correspondente matriz de adjacência somente incluirão valores que sejam superiores ao valor do filtro determinado. A escolha do filtro é feita de tal forma que a rede resultante seja simples o suficiente para interpretar e visualizar, enquanto captura as inter-relações relevantes entre os setores.

A existência de uma interpretação clara para a orientação do arco, ou seja, dirigido de um setor cujo valor da relação técnica seja maior ou igual do que o filtro torna essa rede orientada. Mais precisamente:

$$\vec{a}_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ se } \frac{x_{ij}}{X_j} \geq 0.01^6 \text{ para cada setor } i \neq j = 1, 2, \dots, N \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (1).$$

Onde x_{ij} representa a relação de compra e venda entre os setores i e j e X_j a produção total do setor j , de modo que \vec{a}_{ij} representa o coeficiente ou a relação técnica entre ambos os setores. A implementação gráfica foi realizada a partir do algoritmo desenvolvido por Fruchterman e Reingold (1991), disponível no pacote *igraph* do software R. Nesse algoritmo, o posicionamento dos vértices na rede depende das forças repulsivas e atrativas entre os vértices. Em termos econômicos, o posicionamento de um setor no centro de uma rede seria determinado pelo conjunto de forças atrativas (compras) e repulsivas (vendas) relativamente aos demais setores. Nesse sentido, os setores localizados no centro da rede seriam considerados como os mais importantes.

A análise nesse estudo desconsidera a força dos arcos identificados, isto é, o valor do peso das relações técnicas entre os setores. Portanto, utilizaremos somente o uso de informações binárias contidas nos dados (rede não ponderada) e foca nos padrões de interações intersetoriais existente na economia. A opção para realizar uma análise binária está baseada em dois argumentos. Em primeiro lugar, tanto quanto sabemos, esta é a primeira aplicação da análise de redes a uma série temporal de matrizes de insumo-produto da economia brasileira, de modo que uma análise binária parece ser o caminho

⁶ Como apontado por Fagiolo, Reyes e Schiavo (2008), uma análise de rede a partir de uma matriz binária (matriz de adjacência) trata todas as ligações na rede como se elas fossem completamente homogêneas. Contudo, isso é contra intuitivo, porque os fluxos de compra e venda diferem tanto quando eles são avaliados em termos monetários, como em termos dos coeficientes técnicos. De modo a levar essas heterogeneidades na capacidade e na intensidade das conexões, uma análise ponderada das redes será realizada.

natural para começar. Em segundo lugar, uma grande questão de pesquisa neste trabalho é o estudo da complexidade da estrutura produtiva brasileira a partir de indicadores da teoria de redes. Definir o limite, como na equação acima, enfoca a importância do fenômeno em relação ao tamanho do setor demandante.

A pesquisa sobre redes complexas desenvolveu um rico conjunto de métricas quantitativas destinadas a descrever suas principais características estruturais. O rastreamento de tais métricas agregadas ao longo do tempo também pode lançar luz sobre a dinâmica dos padrões de formação de redes. Os indicadores utilizados no estudo são:

- Densidade da rede: a densidade de rede é definida pela fração de arcos que estão presentes na rede em relação ao número total de arcos possíveis, n^2 ;
- Modularidade da rede: uma característica importante de uma rede usada em muitos algoritmos de detecção de comunidades é a modularidade. A modularidade é uma medida da estrutura da rede, especificamente a extensão em que os vértices exibem agrupamentos onde há maior densidade dentro dos agrupamentos e menor densidade entre eles. A modularidade pode ser usada de forma exploratória, em que um algoritmo tenta maximizar a modularidade e retorna a classificação dos vértices que melhor explica o agrupamento observado. Por outro lado, a modularidade pode ser usada de forma descritiva, onde a estatística de modularidade é calculada para qualquer variável de classificação do vértice de interesse;
- Centralidade de autovetor: visam identificar os vértices mais importantes em uma rede. Várias definições de centralidade existem na literatura de acordo com os diferentes significados de importância de um vértice. As medidas de centralidade do vértice podem ser amplamente categorizadas em quatro grupos: grau (quão conectado é um vértice); proximidade (quão facilmente um vértice pode alcançar outros vértices); *betweenness* ou intermediação (quão importante é um vértice para conectar outros vértices); e as características dos vizinhos (o quão importante são os vizinhos de um vértice). Nesta última classe de medidas de centralidade, a centralidade de um vértice é recursivamente relacionada às centralidades dos vértices aos quais está conectada, ou seja, a importância de um vértice depende da

importância de seus vizinhos. Esta categoria inclui a medida de centralidade de autovetores usada aqui, entre outros. A centralização é uma métrica agregada que caracteriza como uma rede é centrada em torno de um ou alguns vértices importantes, examinando as diferenças de centralidade entre o vértice mais central de uma rede e todos os outros. Níveis mais altos de centralização indicam uma estrutura de rede mais concentrada, dominada por um ou alguns poucos vértices centrais. Nesse sentido, uma rede muito centralizada é menos resiliente a choques porque pode falhar se esses vértices importantes não estiverem presentes;

- **Distância média:** a distância geodésica é o comprimento do caminho mais curto entre dois vértices e a distância geodésica média é simplesmente a sua média em todos os vértices. É uma medida de quão próximos os vértices estão uns dos outros em uma rede e pode ser visto como uma medida de interdependência entre os setores. Se assumirmos que é preciso uma unidade de tempo para que algo atravesse um arco, a distância entre dois vértices indica o caminho mais rápido que determinado fluxo poderia atravessar de um vértice para o outro. Uma longa distância geodésica implica que, mesmo sob as melhores condições, levaria muito tempo até que algo percorra a distância entre dois vértices (Borgatti, Everett e Johnson, 2013);
- **Assortatividade:** o padrão de conectividade entre vértices de vários graus também afeta a dinâmica de interação da rede. Se os vértices de alto grau em uma rede tendem a estar conectados com outros vértices de alto grau, diz-se que a rede é combinatória ou mostra uma combinação de agrupamentos. Pelo contrário, a rede é considerada desassortativa se os vértices com muitas conexões tendem a ser conectados a outros vértices com poucas conexões. A assortatividade de graus é uma medida de nível de rede que quantifica a tendência de os vértices se ligarem a vértices com graus semelhantes, isto é, refere-se à correlação entre os graus de vértices adjacentes (Serrano e Boguñá, 2003);
- **Coefficiente global de agrupamento:** existe uma variedade de conceitos que medem quão coesa ou intimamente ligada está uma rede. O coeficiente de *clustering* ou agrupamento global é definido como a probabilidade de dois

vértices serem conectados se compartilharem um vizinho mútuo, fornecendo uma indicação geral de *clustering* em toda a rede⁷.

⁷ Para uma análise formal desses indicadores ver Wasserman e Faust (1994). A implementação dessas medidas foi realizada a partir do pacote *igraph*, disponível no software R (Csardi e Nepusz, 2006).

4 A evolução da estrutura produtiva brasileira analisada a partir da teoria das redes

A distância geodésica é o comprimento do caminho mais curto entre dois vértices e a distância geodésica média ou comprimento médio do caminho é simplesmente a sua média entre todos os vértices. É uma medida de quão próximos os vértices estão uns dos outros em uma rede e pode ser visto como uma medida de integração entre os setores econômicos. A distância média mostrada no primeiro gráfico abaixo tem valores relativamente baixos, semelhante aos das redes aleatórias comparáveis. Além disso, uma tendência crescente é visível, principalmente depois da crise econômica mundial de 2008, indicando que os setores se tornaram menos integrados do ponto de vista das relações técnicas de insumo-produto.

As principais métricas de rede específicas aos vértices são as medidas de centralidade que visam identificar os vértices mais importantes em uma rede. Várias definições de centralidade existem na literatura de acordo com os diferentes significados de importância de um vértice. Conforme Jackson, 2008, as medidas de centralidade dos vértices podem ser amplamente categorizadas em quatro grupos: grau (como um vértice é conectado); proximidade ou *closeness* (quão facilmente um vértice pode alcançar outros vértices); intermediação ou *betweenness* (quão importante é um vértice para conectar outros vértices); e as características de vizinhança (o quão importante são os vizinhos de um vértice). Nesta última classe de medidas de centralidade, a centralidade de um vértice é recursivamente relacionada às centralidades dos vértices aos quais está conectado, ou seja, a importância de um vértice depende da importância de seus vizinhos. Esta categoria inclui a medida da centralidade do autovetor usada aqui, entre outras.

A centralização é uma métrica agregada que caracteriza como uma rede é centrada em torno de um ou alguns vértices importantes, examinando as diferenças de centralidade entre o vértice mais central de uma rede e todos os outros. Níveis mais altos de centralização indicam uma estrutura de rede mais concentrada, dominada por um ou alguns poucos vértices centrais. Nesse sentido, uma rede muito centralizada é menos resiliente a choques exógenos, uma vez que a ausência de vértices importantes pode provocar movimentos disruptivos na rede. A medida de centralidade de autovetor da rede produtiva brasileira é relativamente alta e crescente ao longo de todo o período. Isto indica

os valores para os vértices (setores) da centralidade de autovetor tornaram-se mais dispersas entre 2000 e 2015. Portanto, enquanto um conjunto de grandes setores manteve suas posições centrais na rede durante todo o período, sua influência aumentou à medida que outros setores se tornaram atores menos relevantes na rede produtiva brasileira.

O padrão de conectividade entre os vértices de vários graus também afeta a dinâmica de interação dos vértices da rede. Se os vértices de alto grau em uma rede tendem a estar conectados com outros vértices de alto grau, diz-se que a rede é assortativa ou *assortative mixing*. Pelo contrário, a rede é considerada desassortativa se os vértices com muitas conexões tendem a ser conectados a outros vértices com poucas conexões. O coeficiente de assortatividade é uma medida de nível de rede que quantifica a tendência de os vértices se ligarem a vértices com graus semelhantes, isto é, refere-se à correlação entre os graus de vértices adjacentes (Newman, 2002). A partir do trabalho de Serrano e Boguñá (2003), a maioria dos estudos empíricos sobre redes de comércio internacional descobriram que elas são caracterizadas por uma mistura desassortativa, já que países altamente conectados tendem a se conectar a países mal conectados. O resultado obtido para a rede produtiva brasileira também mostra um padrão desassortativo. Essa característica reflete a existência de alguns setores centrais, que atuam como *hubs* na rede produtiva. Isto significa que alguns poucos setores na rede produtiva brasileira atuam como elementos centrais no fluxo de bens e serviços, enquanto os setores conectados aos setores *hubs* são pouco conectados aos demais setores da estrutura produtiva.

Outra característica importante das redes é o quão bem agrupadas elas são. Existe uma variedade de conceitos que medem quão coesa ou intimamente ligada é uma rede. O coeficiente de agrupamento⁸ (*clustering*) global ou transitividade é definido como a probabilidade de dois vértices serem conectados se compartilharem um vizinho mútuo e fornece uma indicação geral de agrupamento em toda a rede. Para a rede produtiva brasileira, houve uma progressiva queda no coeficiente de agrupamento ao longo de todo

⁸ O coeficiente de agrupamento pode ser uma medida local, quando análise está centrada nos vértices, ou global, quando a análise está preocupada com características gerais da rede. Segundo Cabral (2013, p.2), o coeficiente de agrupamento “indica a probabilidade de que dois nós (vértices) vizinhos tenham um outro vizinho em comum”.

o período, com duas quedas acentuadas entre 2001 e 2004 e depois da crise econômica mundial de 2008. No entanto, os valores do coeficiente de agrupamento são muito superiores aos correspondentes a uma rede aleatória de mesmo tamanho, o que sugere a presença de uma estrutura hierárquica e uma tendência de os setores se agruparem em torno de alguns setores mais influentes. A queda apresentada no coeficiente de agrupamento significa que tendência à formação de grupos ou comunidades de setores com características semelhantes diminuiu entre 2000 e 2015. A densidade de uma rede é definida como a razão entre o número de arcos existentes e o número de arcos possíveis. Essa varia entre 0 e 1, com valores próximos indicando redes pouco densas, enquanto valores próximos a 1 mostram rede com maiores níveis de densidade. Se a densidade na rede é alta, isso significa que todos estão conectados de uma forma que todos os vértices devem estar conectados entre si. Quanto mais vínculos e mais fortes as conexões entre os membros da rede, mais densa a rede. A densidade de uma rede pode fornecer *insights* sobre fenômenos como a velocidade com que um choque exógeno se difunde ao longo de todos os vértices (ou setores) de uma rede. Como podemos observar no gráfico abaixo, ocorreu uma diminuição na densidade da rede produtiva brasileira, que sai de 0,4006, em 2000, para 0,3809, em 2015. Isso significa que em 2000 aproximadamente 40% de todos os possíveis vértices estavam presentes, enquanto em 2015 esse percentual caiu para 38%. A perda de densidade da estrutura produtiva brasileira nesse período indica a existência de “buracos estruturais” entre os setores da economia, isto é, o aumento da perda de conexões entre os setores produtivos.

altamente conectados entre si. Essa medida foi projetada para medir a força da divisão de uma rede em módulos. Redes com alta modularidade têm conexões densas entre os vértices dentro dos módulos, mas conexões esparsas ou fracas entre vértices em diferentes módulos. Em termos econômicos, o cálculo da modularidade busca investigar a formação de grupos de setores com características similares, agrupando-os em grupos de setores, de modo a análise a conectividade entre esses módulos ou grupos de setores. A simples constatação de que uma rede contém grupos fortemente unidos pode transmitir informações úteis: se uma rede produtiva fosse dividida em determinados grupos, por exemplo, poderíamos ter uma visão modular da dinâmica da rede, com diferentes grupos

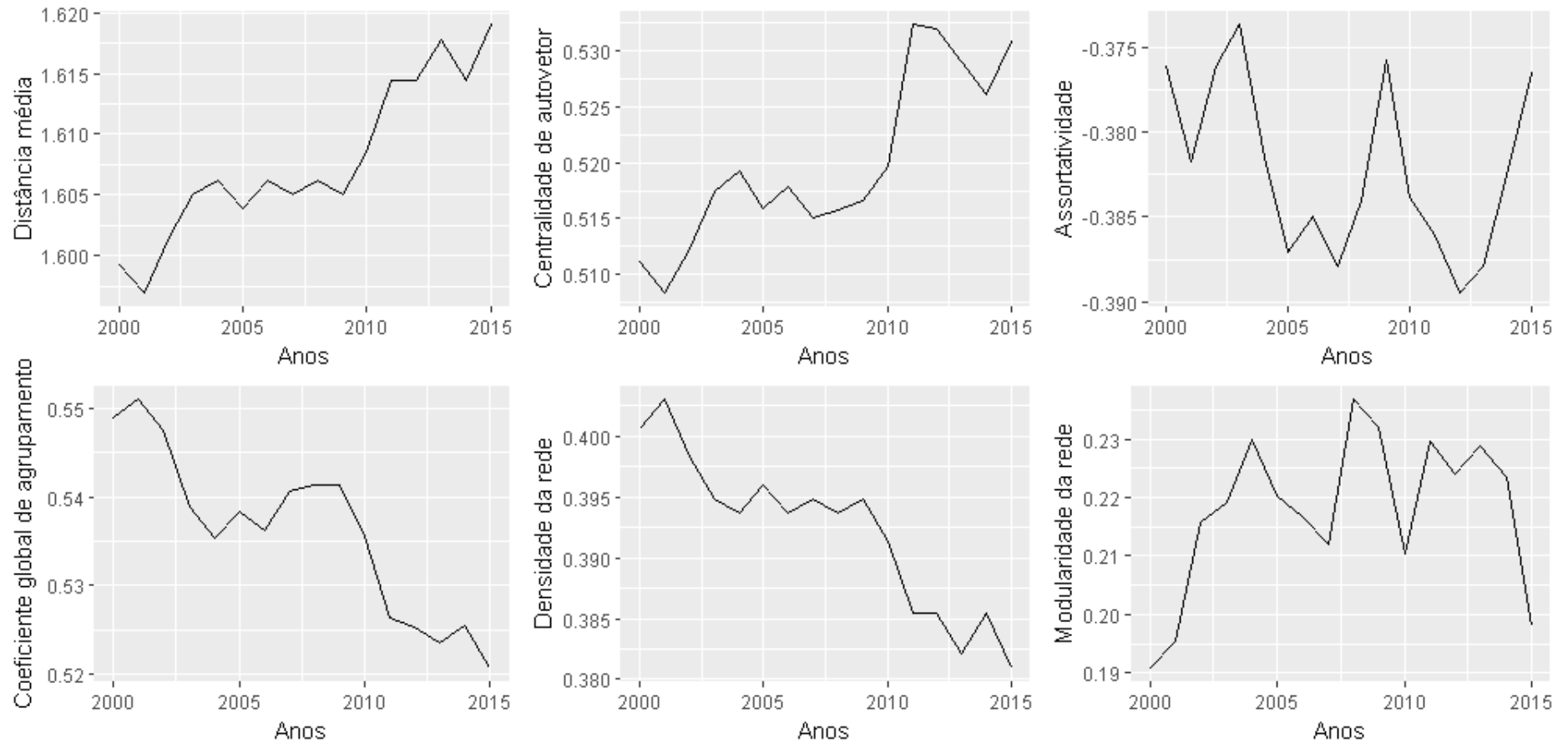
de setores realizando diferentes funções com algum grau de independência⁹ em relação aos demais. Como podemos constatar, a modularidade da estrutura produtiva brasileira variou bastante ao longo do período em análise. Contudo, essa variância percebida na modularidade da rede produtiva ocorreu no intervalo de 0,19 a 0,24, indicando que a estrutura produtiva brasileira é fracamente modular, com grupos de setores bem conectados. A existência de uma fraca modularidade na estrutura produtiva brasileira é indicativa de que um aumento repentino na demanda final pelo produto de um setor pertencente a determinado grupo ou comunidade tende a se propagar rapidamente aos demais grupos.

Em resumo, a análise dessas medidas agregadas mostra que a rede produtiva brasileira é caracterizada por um padrão centralizado e assimétrico, na qual poucos setores atuam como *hubs*, criando, assim, seus pequenos grupos de influências. Além disso, algumas propriedades estruturais da rede produtiva brasileira guardam semelhanças com aquelas encontradas em redes de pequeno mundo (*small-world network*), alto coeficiente de agrupamento e baixa distância média¹⁰), e estruturas hierárquicas com padrões desassortativos de interação entre os setores.

⁹ O coeficiente de agrupamento mede o grau de conectividade entre os vértices com vizinhos comuns, enquanto a modularidade de uma rede mede o grau de conectividade entre diferentes grupos de ou módulos de vértices, que compartilham características semelhantes. O cálculo da medida da modularidade da rede produtiva brasileira foi construído a partir do algoritmo desenvolvido por Clauset, Newman e Moore (2004) e Pons e Latapy (2006). A formação de comunidades pode estar baseada em uma série de medidas de centralidade, modelos de fluxos de informação, *random walks* e otimização. Ainda que seja difícil definir formalmente a modularidade de uma rede, considere que uma partição $P = \{C_1, \dots, C_k\}$ dos vértices de um grafo $G = (V, E)$, $(\forall i, C_i \subseteq V)$, representa uma boa estrutura comunitária se a proporção de arcos dentro de C_i (arcos internos) é maior comparada àquela proporção de arcos entre as comunidades. Vale salientar, que a modularidade da rede varia entre 0 e 1, com 0 indicando a inexistência ou a impossibilidade de formação de comunidades ou módulos, enquanto que valores próximos a 1 indicam redes altamente modulares.

¹⁰ Ver Watts e Strogatz (1998), Humphries e Gurney (2008) e Telesford et al. (2011).

Gráfico 1 – Evolução dos índices estruturais para a economia brasileira entre 2000 e 2015



Fonte: elaboração própria a partir de dados das matrizes de insumo-produto.

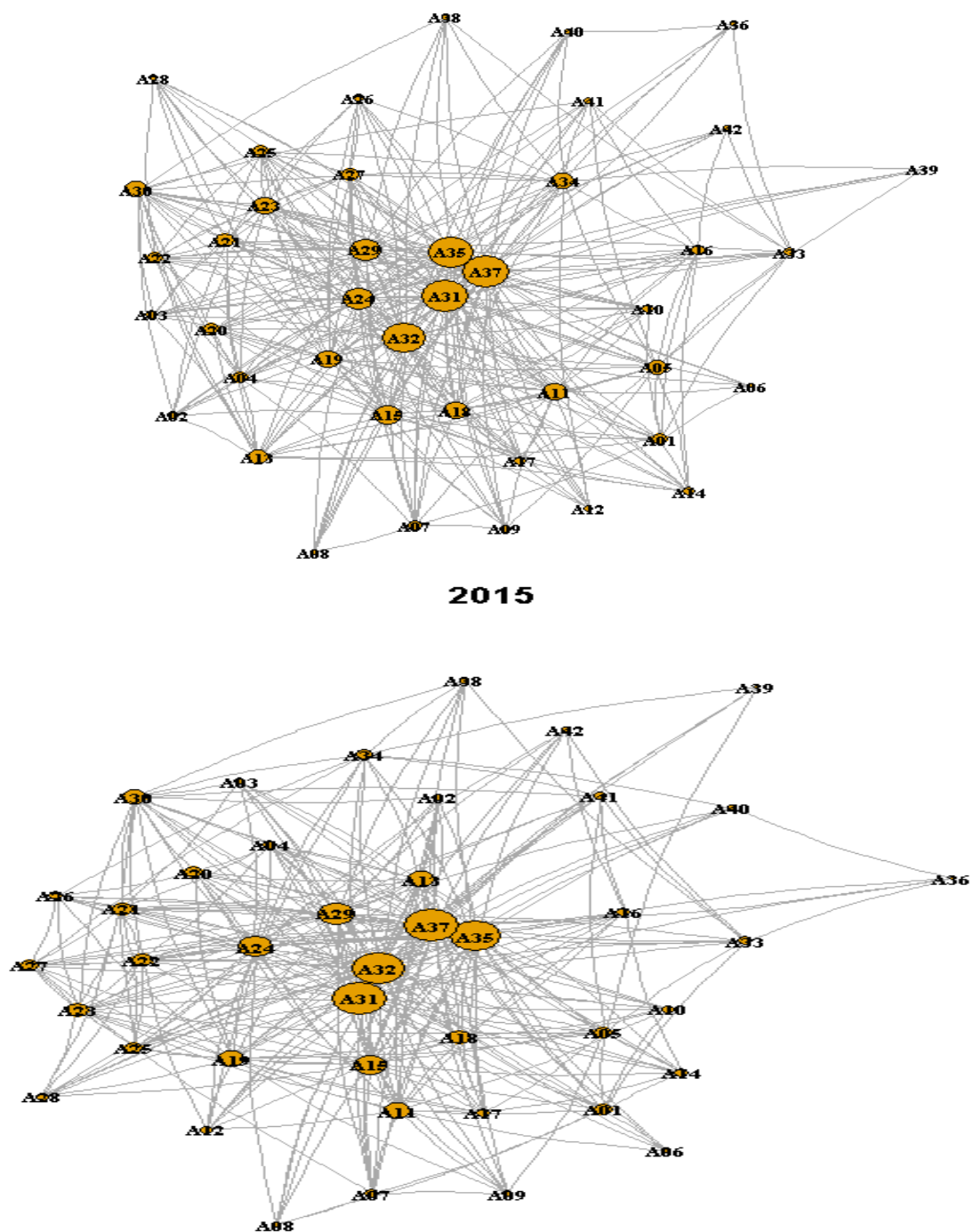
Depois de descrever as principais características estruturais da rede produtiva brasileira, por meio de suas relações técnicas de insumo-produto, vamos agora representar graficamente a estrutura produtiva. De fato, um dos principais métodos de análise de rede é a visualização gráfica de sua estrutura, com foco no posicionamento dos vértices dentro da rede. A figura 4 abaixo mostra a estrutura produtiva brasileira em 2000 e 2015.

Cada setor é representado por um círculo e cada arco indica os coeficientes técnicos entre os setores. Dada a definição apresentada na equação 1, a escala de um setor interage com sua integração na estrutura produtiva, de modo a estabelecer sua importância dentro da rede. Nesta configuração, um algoritmo orientado pela força (*forced-direct*) é normalmente utilizado para determinar a localização dos vértices na visualização da rede. Todas as redes no presente estudo utilizam o algoritmo *forced-direct placement* (Fruchterman e Reingold, 1991), com base no pacote *igraph* disponibilizado no *software* R. Em todas as redes, o tamanho de cada vértice é proporcional ao seu grau total (soma do *indegree* e do *outdegree*).

A diminuição na densidade da rede produtiva brasileira, constatada no gráfico 1, também pode analisada pelo número de arcos presentes nas redes. Em 2000, o número de arcos era de 345, enquanto que em 2015 esse número diminuiu para 328. Essa evolução indica uma redução no número de coeficientes técnicos com valores iguais ou superiores ao limite fixado em 1%. A posição dos vértices leva em consideração sua importância relativa na rede. Em 2000, os setores que estão no núcleo principal são setores de comércio e serviços, como Comércio (A31), Transporte, armazenagem e correio (A32), Intermediação financeira seguros e previdência complementar e serviços relacionados (A35) e Serviços prestados às empresas e às famílias e serviços de manutenção (A37). Relações secundárias são percebidas em Máquinas e equipamentos e móveis e produtos das indústrias diversas (A24) e Produção e distribuição de eletricidade gás água esgoto e limpeza urbana (A29). Outros arcos secundários estão localizados em torno a setores industriais, como Artigos de borracha e plástico (A19), Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros (A15), Impressão e reprodução de gravações (A12), Fabricação de celulose, papel e produtos de papel (A11), Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos (A18) e Refino de petróleo e coquerias (A13).

Em 2015, a análise da rede produtiva brasileira mostra poucas modificações relativamente à localização dos setores no interior da rede. O núcleo principal continua a ser dominado pelos setores de comércio e de serviços, com um aumento no tamanho dos vértices, indicando uma maior importância dos setores de Comércio, Transporte, armazenagem e correio, Intermediação financeira seguros e previdência complementar e serviços relacionados e Serviços prestados às empresas e às famílias e serviços de manutenção. Chama atenção o deslocamento do setor Refino de petróleo e coquerias (A13) de uma posição marginal, em 2000, para uma posição mais central, em 2015, na rede produtiva brasileira. Essa posição mais central do setor de refino de petróleo e coquerias está relacionada com a crescente importância da Petrobrás e suas subsidiárias para a dinâmica da estrutura produtiva brasileira ao longo dos anos 2000. Outro grupo de setores que ganhou importância na rede produtiva foi o de Cimento e outros produtos de minerais não-metálicos (A20), Fabricação de aço e derivados (A21) e Metalurgia de metais não-ferrosos (A22). Já os setores de Serviços de informação (A34) e Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos (A23), Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos (A18) e Alimentos e Bebidas (A05) apresentaram as maiores perdas em suas conexões (ou no grau total dos respectivos setores) com os demais setores da economia, de modo que foram deslocados para posições mais periféricas da rede produtiva.

Figura 1 – Redes da estrutura produtiva brasileira – 2000 e 2015



Fonte: elaboração própria a partir das matrizes de insumo-produto.

Notas: As redes são apresentadas sem orientação e os arcos presentes entre os vértices representam os coeficientes técnicos com valores iguais ou superiores a 1%. O tamanho de cada vértice é proporcional ao seu grau total, isto é, a soma do *indegree* e do *outdegree*. Ambas as redes foram construídas a partir do algoritmo elaborado por Fruchterman e Reingold (1991), chamado *forced-direct placement*.

Conforme apontado por Borgatti e Everett, (1992), a ideia fundamental subjacente à noção de posição ou localização é aquela de correspondência ou similaridade estrutural¹¹. Vértices (ou setores) que estão conectados da mesma forma aos demais setores da rede são chamados de equivalentes e ocupam posições similares. Em geral, o objetivo de análises posicionais é particionar os vértices em classes mutuamente exclusivas de vértices equivalentes, que possuem padrões relacionais similares. A utilização do algoritmo *forced-direct placement* busca posicionar os setores produtivos no centro ou na periferia da estrutura produtiva brasileira de acordo com padrões relacionais similares, e não segundo o grau de proximidade deles. As poucas modificações observadas em ambas as redes, 2000 e 2015, fornecem indicativos de que os setores produtivos pouco alteraram seus padrões relacionais dentro das redes. Esses resultados agregados jogam luz sobre a ocorrência ou não de mudanças estruturais nesse período. Podemos afirmar que a estrutura produtiva brasileira parece ter perdido em termos de densidade de suas relações técnicas de produção, embora essa perda de densidade tenha ocorrido com poucas modificações nos padrões de interação entre os setores. Os resultados mostram a necessidade de mais estudos, a partir da teoria das redes sociais, para um melhor entendimento sobre os padrões relacionais e o papel da posição dos setores dentro da rede produtiva brasileira.

¹¹ Ver Burt (1976) para uma análise aprofundada sobre a importância de analisar os padrões relacionais dos atores dentro da rede e suas relações com o ambiente social. Para Burt (1976), dentro do conjunto total de todas as relações que ligam um ator a outros atores em um sistema social, existem subconjuntos de relações semelhantes. Existem relações econômicas que ligam o ator a outros atores específicos. Existem relações de amizade, relações de parentesco e relações de status. Existem relações políticas que ligam o ator a outros atores. Cada um desses tipos de relações entre os atores de um sistema social serve para definir uma rede de relações entre os atores. É a partir desse conjunto de noções relativas aos padrões relacionais dos atores que é desenvolvido o conceito de equivalência estrutural: conjunto de atores ou vértices estruturalmente equivalentes são aqueles que estão conectados pelas mesmas relações com os demais vértices da rede, dado que vértices estruturalmente equivalentes possuem posições similares na rede. Para uma aplicação desse conceito às matrizes de insumo-produto ver García Muñiz (2013).

5 Conclusões

para analisarmos a rede de relações técnicas ou as transações produtivas existentes no interior de uma economia. Uma análise sintética de suas características estruturais é um ponto fundamental para entender a dinâmica e o funcionamento de longo prazo dos países. A análise das características estruturais de uma economia é um aspecto fundamental para a compreensão de sua operação. A teoria das redes sociais mostra um grande potencial nesse sentido, ao permitir uma notável simplificação do esquema de relações intersetoriais contido em uma matriz de insumo-produto. O seu uso permite um conhecimento detalhado das relações de um setor com os demais setores da economia, no qual ele desenvolve a estrutura de suas relações de interdependência.

No presente trabalho, examinamos a estrutura produtiva brasileira a partir do enfoque da teoria das redes sociais. Com base na elaboração de um novo conjunto de matrizes de insumo-produto entre 2000 e 2015, utilizamos seis medidas estruturais agregadas: densidade da rede, modularidade da rede, reciprocidade, assortatividade, centralidade de autovetor e coeficiente de agrupamento. Além dessas métricas agregadas, buscamos mostrar, por meio de uma análise gráfica das redes produtivas da economia brasileira entre 2000 e 2015, o posicionamento dos setores. De modo a facilitar a análise gráfica das redes produtivas, foi utilizado um filtro a fim de mostrar as principais relações técnicas existentes na estrutura produtiva brasileira. A construção de uma série temporal de matrizes de insumo-produto permitiu o cálculo de indicadores estruturais derivados da teoria das redes. Nesse sentido, o presente trabalho contribui ao debate sobre mudança estrutural na economia brasileira ao utilizar uma nova série temporal de matrizes de insumo-produto e indicadores estruturais da teoria das redes que permitem avaliar sinteticamente as mudanças ocorridas nas interrelações entre os setores. A construção de uma ponte teórica e metodológica entre as abordagens matriciais e da teoria das redes constitui um importante passo para lançar nova luz sobre as características estruturais das economias.

A aplicação dos indicadores estruturais da teoria das redes mostrou como a densidade da rede produtiva brasileira caiu entre 2000 e 2015. Isso reflete a perda de ligações (ou arcos) entre os setores (ou vértices) da economia, sugerindo que essas ligações entre os setores domésticos estão sendo substituídas, via importações de insumos intermediários, por

ligações com setores de outras economias. A perda de densidade da rede produtiva parece ter provocado um aumento na distância média entre os setores, tendo em vista a perda de ligações verificada entre os setores. Já o aumento na centralidade do autovetor mostrou como a dinâmica da rede produtiva brasileira passou a depender de um pequeno de setores, que passou a ser dominada por um ou alguns poucos setores centrais. A análise conjunta desses três indicadores mostra que a estrutura produtiva brasileira tendeu a ficar menos resiliente a choques exógenos, tendo em vista que a falha em um desses setores centrais pode provocar movimentos disruptivos na economia. Por fim, a diminuição no coeficiente de agrupamento sugere a existência de estruturas hierárquicas e uma tendência de que os setores estejam agrupados em torno de alguns setores centrais, que atuam como *hubs*.

A relevância da análise de redes para entender a estrutura produtiva e o padrão de interações entre os setores é grande e a pesquisa existente ainda está em sua infância. Uma abordagem de rede complexa que leve em consideração o conjunto completo de conexões entre os setores e suas posições nas redes produtivas pode contribuir para uma melhor avaliação de processos de mudanças estruturais e quais políticas são apropriadas em um ambiente de crescente internacionalização da produção e abertura das economias.

A análise de rede e suas métricas podem ajudar a capturar a heterogeneidade dos setores que estão inseridos em determinada estrutura produtiva, explicando seus vínculos diretos e indiretos e explorando a complexidade de toda a estrutura de interações. Uma perspectiva das redes de ligações entre os setores oferece visões importantes sobre a propagação de choques e sobre as origens das flutuações agregadas. Uma extensão dessa literatura que leve em consideração os fluxos de comércio de valor agregado pode ser extremamente útil para examinar a transmissão internacional de choques e a sincronização dos ciclos de negócios entre os países. O desenvolvimento de modelos de cadeias globais de valor que incorporem o rico conjunto de medidas na teoria de redes é um caminho promissor para pesquisas futuras.

Apêndice - Lista de setores e seus respectivos códigos

A01	Agricultura silvicultura exploração florestal e Pecuária e pesca
A02	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio
A03	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração
A04	Outros da indústria extrativa
A05	Alimentos e Bebidas
A06	Fabricação de produtos do fumo
A07	Fabricação de produtos têxteis
A08	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios
A09	Fabricação de calçados e de artefatos de couro
A10	Fabricação de produtos da madeira
A11	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel
A12	Impressão e reprodução de gravações
A13	Refino de petróleo e coquerias
A14	Fabricação de biocombustíveis
A15	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros
A16	Produtos farmacêuticos
A17	Perfumaria higiene e limpeza
A18	Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos
A19	Artigos de borracha e plástico
A20	Cimento e outros produtos de minerais não-metálicos
A21	Fabricação de aço e derivados
A22	Metalurgia de metais não-ferrosos
A23	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos
A24	Máquinas e equipamentos e móveis e produtos das indústrias diversas
A25	Eletrodomésticos e material eletrônico
A26	Automóveis camionetas caminhões e ônibus
A27	Peças e acessórios para veículos automotores
A28	Outros equipamentos de transporte
A29	Produção e distribuição de eletricidade gás água esgoto e limpeza urbana
A30	Construção civil
A31	Comércio
A32	Transporte armazenagem e correio
A33	Serviços de alojamento e alimentação
A34	Serviços de informação
A35	Intermediação financeira seguros e previdência complementar e serviços relacionados
A36	Atividades imobiliárias e aluguéis
A37	Serviços prestados às empresas e às famílias e serviços de manutenção
A38	Administração pública, defesa e seguridade social
A39	Educação pública
A40	Educação privada
A41	Saúde pública
A42	Saúde privada

Bibliografia

ALBERT, R.; BARABÁSI, A.-L. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, v. 74, n. 1, p. 47–97, 2002.

BASKARAN, T. et al. The Heckscher – Ohlin model and the network structure of international trade. *International Review of Economics and Finance*, v. 20, n. 2, p. 135–145, 2011.

BATTISTON, S.; RODRIGUES, J. F.; ZEYTINOGLU, H. The network of inter-regional direct investment. v. 10, n. 1, p. 29–51, 2007.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G. *Notions of Position in Social Network Analysis*. [s.l: s.n.]. v. 22, 1992.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; JOHNSON, J. *Analyzing social networks*. Sage: Londres, 2013.

BRUALDI, R.; CVETKOVIC, D. *A combinatorial approach to matrix theory and its applications*. CRC Press: Florida, 2009.

BURT, R. Positions in networks. *Social forces*, v. 55, n. 1, pp. 93-122, 1976.

CHENERY, H.; WATANABE, T. International comparisons of the structure of production. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, p. 487-521, 1958.

CLAUSET, A.; NEWMAN, M.; MOORE, C. Finding community structure in very large networks. *Physical review E*, v. 70, n. 6, p. 066111, 2004.

CSARDI, G.; NEPUSZ, T. The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, v. 1695, n. 5, p. 1-9, 2006.

De MESNARD, L. On Boolean Topological Methods of Structural Analysis. In: LAHR, M.L. e DIETZENBACHER, E. (Eds.), *Input-Output Analysis: Frontiers and Extensions*. Palgrave: New York, 2001.

DOROGOVTSSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW. *Booksgooglecom*, v. 57, p. 280, 2003.

FAGIOLO, G.; REYES, J.; SCHIAVO, S. On the topological properties of the world trade web : A weighted. v. 387, p. 3868–3873, 2008.

FRUCHTERMAN, T. M.; REINGOLD, E. M. Graph drawing by force-directed placement. *Software: Practice and experience*, v. 21, n. 11, p. 1129-1164, 1991.

FUENTES, N. A.; CÁRDENAS, A.; BRUGUÉS, A. Análisis estructural de la economía de Baja California : un enfoque de redes sociales. *Región y Sociedad*, v. XXV, n. 57, p. 27–60, 2013.

GARCÍA, A.; CARVAJAL, C. Las redes sociales como herramienta de análisis estructural input-output. *Redes*, v. 4, n. 1951, p. 1–21, 2003.

GARCÍA MUÑIZ, A. S. Input-output research in structural equivalence: Extracting paths and similarities. *Economic Modelling*, v. 31, n. 1, p. 796–803, 2013.

GARLASCHELLI, D.; LOFFREDO, M. I. Structure and evolution of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 355, n. 1, p. 138–144, 2005.

GLATTFELDER, J. B.; BATTISTON, S. Backbone of complex networks of corporations: The flow of control. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, v. 80, n. 3, p. 1–24, 2009.

GRASSI, R. Vertex centrality as a measure of information flow in Italian Corporate Board Networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 389, n. 12, p. 2455–2464, 2010.

HIDALGO, C. A. et al. The Product Space Conditons the Development of Nations. *Science*, v. 317, n. July, p. 482–487, 2007.

HIRSCHMAN, A. La estrategia de desarrollo económico. Fondo de Cultura Económica: Ciudad de México, 1961.

HUMPHRIES, M. D.; GURNEY, K. Network ‘small-world-ness’: a quantitative method for determining canonical network equivalence. *PloS one*, v. 3, n. 4, p. e0002051, 2008.

IORI, G. et al. A network analysis of the Italian overnight money market. v. 32, p. 259–278, 2008.

JACKSON, M. O. *Social and Economic Networks*. Princeton University Press: Princeton, 2008.

KOENIG, M. D. et al. On algebraic graph theory and the dynamics of innovation networks. *Networks and Heterogeneous Media*, v. 3, n. 2, p. 201–219, 2008.

LANTNER, R. *Théorie de la dominance économique*. Dunot: Paris, 1974.

LANTNER, R.; LEBERT, D. Dominance et amplification des influences dans les structures linéaires. *Économie Appliquée*, v. 58, n.3, pp. 143-165, 2015.

_____. Dominance, dependence and interdependence in linear structures. A theoretical model and an application to the international trade flows. *Documents de Travail du Centre d'Economie de la Sorbonne*, n.43, 2013.

LORENZ, J.; BATTISTON, S.; SCHWEITZER, F. Systemic risk in a unifying framework for cascading processes on networks. *European Physical Journal B*, v. 71, n. 4, p. 441–460, 2009.

NEWMAN, M. E. J. Assortative Mixing in Networks. *Physical Review Letters*, v. 89, n. 20, p. 1–5, 2002.

PONS, P.; LATAPY, M. Computing communities in large networks using random walks. *J. Graph Algorithms Appl.*, v. 10, n. 2, p. 191-218, 2006.

RASMUSSEN, P. N. *Studies in intersectoral relations*. Amsterdam: North-Holland, 1956.

SERRANO, M. Á.; BOGUÑÁ, M. Topology of the world trade web. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics*, v. 68, n. 1, p. 4, 2003.

SONIS, M., HEWINGS, G. Feedbacks in input-output systems: impacts, loops and hierarchies. Discussion Paper REAL, n. 98-T-2, 1998.

STREIT, M. E. Spatial Associations and Economic Linkages between industries. *Journal of Regional Science*, Vol.9, n° 2, pp.177-88.

TELESFORD, Q. K. et al. The ubiquity of small-world networks. *Brain connectivity*, v. 1, n. 5, p. 367-375, 2011.

VEGA-REDONDO, F. Complex social networks. Cambridge University Press: Cambridge, 2007.

WASSERMAN, S., FAUST, K. Social network analysis: methods and applications. Cambridge University Press: Cambridge, USA, 1994.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, v. 393, n. 6684, p. 440, 1998.