

Dinâmica de retroalimentação entre a topologia da Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB) e a participação das Unidades Federativas no PIB brasileiro

Mestranda: Luísa Jaccoud de Oliveira

Orientador: Silvio Yoshiro Mizuguchi Miyazaki

Coorientador: Fernando Fagundes Ferreira

O campo de estudo de Sistemas Complexos tem por enfoque o entendimento de como um número de entidades relativamente simples se organizam e, sem um controlador central, formam um sistema coletivo que cria padrões, processa informações e, em alguns casos, aprende e evolui [MITCHELL, 2009, p. 13; BOCCARA, 2010, p.4]. Um conceito central deste campo é a retroalimentação – ou *feedback loop* – cenário em que duas ou mais variáveis encontram-se em codependência, sendo causa e consequência de si mesmas.

O poder explicativo desta modelagem vem ganhando destaque em muitas áreas do conhecimento, como é o caso das Ciências Econômicas. A principal referência utilizada neste trabalho é Garlaschelli e Loffredo (2005) e sua contribuição com o estudo das propriedades topológicas da rede de Comércio Internacional (World Trade Web – WTW), estruturado a partir de uma abordagem direcionada e evolucionista. A topologia da rede global é associada com os Produtos Internos Brutos dos países que a compõem, a partir da utilização do Modelo Fitness. Os autores trazem o debate sobre retroalimentação entre estes dois fatores: a topologia da rede e o tamanho de seus vértices (os PIB). Se o PIB de um país é relativamente grande, ele está mais envolvido nas transações comerciais e o inverso também é verdadeiro.

O objetivo geral do presente trabalho é estudar as propriedades topológicas de outra rede: da Balança Comercial Interestadual Brasileira (BCIB), por meio da metodologia empregada em Garlaschelli e Loffredo (2005). Temos por objetivo compreender se há relação – e mais, se há dinâmica de retroalimentação – entre a topologia do comércio doméstico do Brasil com o tamanho de seus vértices (que aqui serão os PIB estaduais ou, mais especificamente, a participação de cada Unidade Federativa (UF) no PIB brasileiro).

Antes das décadas de 1960 e 1970, a Economia Brasileira era muito pouco integrada, havendo uma série de barreiras comerciais entre as UF. A partir deste período, foi aplicada uma série de políticas de desenvolvimento econômico e de

incentivos fiscais, contribuindo gradualmente para a existência da Economia Brasileira continental como é atualmente. Entretanto, esta rede comercial que foi iniciada com as UF relativamente isoladas – no sentido de concentração da indústria em certas localidades – passou por processos de desconcentração e reconcentração no final do século passado. Nos anos recentes, o comércio interestadual alcançou integração total (ou seja, trata-se de um grafo completo, onde todos os 27 vértices da rede se conectam por arestas entre si¹), mas ainda há concentração industrial em certas localidades – o que influencia a dinâmica de compra e venda entre as UF.

O método empregado em Garlaschelli e Loffredo (2005) tem por base construir a rede com base no fluxo monetário entre dois países (ou UF, no nosso caso), representando uma aresta entre cada dupla que transaciona. O valor das compras de i , advindos de j no período t , é representado por uma aresta direcionada de i para j no t -ésimo instante do grafo. É então construída uma matriz adjacente cujos elementos são definidos a partir de uma perspectiva booleana.

$$\begin{cases} a_{ji}(t) = 1 & \text{caso } i \text{ importe de } j \text{ no período } t; \\ a_{ji}(t) = 0 & \text{caso } i \text{ não importe de } j \text{ no período } t. \end{cases}$$

Dessa forma, é feita uma análise direcionada (fluxo monetário) e evolucionista (em função do tempo t) do grafo. A partir deste princípio, analisamos o grau de entrada e de saída com base na quantidade e direção das arestas da rede.

$$\begin{cases} k_i^{in}(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ij}(t) \\ k_i^{out}(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} a_{ji}(t) \end{cases}$$

Em seguida são definidas três propriedades topológicas²: a distribuição de grau $P(k)$; o grau médio do vizinho próximo (ou Average nearest neighbour degree) $P(k, k')$ e, por fim, o coeficiente de cluster C_i . Plotamos cada um destes três fatores vs o grau k para que possamos fazer a análise topológica da rede.

¹ Será necessário fazer um recorte nos dados para que o grafo deixe de ser completo e, dessa forma, que apliquemos a metodologia sugerida.

² Essas propriedades são exploradas somente após uma manipulação matemática feita para que tratemos a rede de uma forma não direcionada, condicionado a duas propriedades empíricas encontradas no dataset: (i) o grau de entrada da rede é aproximadamente igual ao grau de saída da rede.

$$k_i^{in}(t) \approx k_i^{out}(t), \forall i, t$$

(ii) há uma relação linear entre o grau recíproco e o grau total da rede (o grau recíproco é a quantidade de arestas que aponta para as duas direções simultaneamente).

$$\vec{k}_i(t) \approx \frac{r(t)}{2} k_i^T(t)$$

Com isso, utilizamos do Modelo Fitness, que consiste em atribuir um valor fitness x_i a cada vértice i – como uma variável oculta – de forma a associar a este valor a probabilidade de conectividade do vértice. Dessa forma, a probabilidade p_{ij} de i e j serem conectados está em função das variáveis ocultas $p(x_i, x_j)$. A variável x_i utilizada foi a participação no PIB de cada Unidade Federativa, portando, adimensional. Utilizamos do Modelo Fitness para que as três propriedades topológicas esperadas da rede dependam somente da forma da função de probabilidade e da distribuição *fitness* $\rho(x)$.

Nos resultados parciais foi constatado que a BCIB apresenta as duas propriedades empíricas necessárias para a formulação da metodologia. O grau de entrada da rede é aproximadamente igual ao grau de saída e há uma relação linear entre o grau recíproco e o grau total da rede.

Entre 2017 e 2020, identificamos o Estado de São Paulo (SP) como sendo um *outlier* superavitário das transações comerciais, apresentando transações deficitárias consistentes somente com duas das 26 outras UF (Santa Catarina e Amazonas). Paralelamente, SP representou cerca de 30% do PIB do Brasil nos anos mencionados.

Por outro lado, o Rio de Janeiro e Minas Gerais são respectivamente a segunda e a terceira UF que mais contribuíram para o PIB em 2017, mas ambos apresentaram saldo negativo na Balança Comercial em 2017 – o RJ foi o Estado cujo saldo foi o mais negativo das 27 UF. O Estado de MG sobe no ranking quando deixamos de analisar o saldo da balança comercial interestadual e passamos a analisar a soma dos superávits (o que seria análogo às exportações brutas, quando o saldo total é análogo às exportações líquidas).

Por fim, pretende-se aplicar o método de Garlaschelli e Loffredo (2005) para buscar a compreensão do porquê dessas características, tentando captar padrões de retroalimentação da topologia da rede de comércio interestadual do Brasil com o tamanho das Unidades Federativas no que se diz respeito à participação no PIB brasileiro.

Palavras-chave: Sistemas Complexos. Economia Regional. Retroalimentação de sistemas dinâmicos. Balança Comercial Interestadual Brasileira. Modelo Fitness.