

CENTRO SOCIOECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

EVANDRO FIGUEIREDO LIMA

**ANÁLISE DE REDE DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO: Uma comparação entre
Brasil e Estados Unidos em 2000 e 2014**

Florianópolis, 2018.

EVANDRO FIGUEIREDO LIMA

**ANÁLISE DE REDE DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO: Uma comparação entre
Brasil e Estados Unidos em 2000 e 2014**

Monografia submetida ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Oliveira.

Florianópolis, 2018.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lima, Evandro Figueiredo
ANÁLISE DE REDE DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO : Uma
comparação entre Brasil e Estados Unidos em 2000 e 2014 /
Evandro Figueiredo Lima ; orientador, Guilherme de
Oliveira, 2018.
69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio
Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis,
2018.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Matriz insumo-produto. 3.
Análise de redes. 4. Cadeias globais de valor. I.
Oliveira, Guilherme de . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III. Título.

EVANDRO FIGUEIREDO LIMA

**ANÁLISE DE REDE DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO: Uma comparação entre
Brasil e Estados Unidos em 2000 e 2014**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Ciências Econômicas e aprovado em sua forma final com nota 9,5 pelo Departamento de Economia e Relações Internacionais

Florianópolis, ____ de _____ de _____

Prof. Dr. Helberte João França Almeida
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Guilherme de Oliveira
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. _____
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. _____
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

LIMA, E. F. **ANÁLISE DE REDE DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO: Uma comparação entre Brasil e Estados Unidos em 2000 e 2014.** 2018. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Junto com o crescimento econômico, a estrutura produtiva vem tornando-se complexa ao longo do desenvolvimento das civilizações no mundo. Devido a isso, percebe-se uma relação positiva do aumento dessa complexidade com a elevação da renda agregada. Nesse processo, enquanto alguns países atingiram o patamar de desenvolvido e com crescimento sustentável no longo prazo; outros se encontram em estágio de desenvolvimento, porém, com ciclos de crescimento econômicos instáveis. Na busca por respostas sobre a diferença entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, a identificação da relação de sistemas econômicos em redes complexas com o crescimento sustentável da renda pode auxiliar na resolução dessas questões. Objetiva-se, assim, investigar quais foram as propriedades de rede da matriz insumo-produto mundial no período de 2000 e 2014. A base teórica para análise e interpretação dos resultados fundamenta-se na teoria do crescimento, das redes complexas e da matriz de Leontief. Para se atingir os resultados estimados, foi realizado um levantamento de dados secundários do *World Input-Output Database-WIOD*, Brasil e Estados Unidos, respectivamente, nos anos de 2000 e 2014, para estimar e comparar essa relação pelas características distintas desses países.

Palavras-chave: Matriz insumo-produto. Análise de redes. Cadeias globais de valor.

ABSTRACT

LIMA, E. F. **ANALYSIS OF THE MATRIX NETWORK INPUT-PRODUCT: A comparison between Brazil and the United States in 2000 and 2014.** 2018. 69 p. Course Completion Work (Bachelor of Economics). Federal University of Santa Catarina, Brazil.

Along with economic growth, the productive structure has become complex throughout the development of civilizations in the world. Due to this, a can be seen relationship between increase of this complexity and the increase of the aggregate income is perceived. In this process, while some countries have reached the level of development and sustainable growth in the long term; others are in the developmental stage, but with unstable economic growth cycles. In the search for answers about the difference between developed and developing countries, the identification of the relation of economic systems in complex networks with the sustainable growth of income can help in the resolution of these questions. The objective is to investigate the network properties of the global input-output matrix in the period of 2000 and 2014. The theoretical basis for analysis and interpretation of the results is based on the growth theory, the complex networks and the Leontief matrix. In order to reach the estimated results, a survey of secondary data from the World Input-Output Database-WIOD, Brazil and the United States, respectively, was carried out in the years 2000 and 2014, to estimate and compare this relation by the distinct characteristics of these countries.

Keywords: Input-output matrix. Network analysis. Global value chains.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O que o Brasil exporta? Total: \$182B (2016)	18
Figura 2 - Visualização do espaço do produto por meio do OEC	20
Figura 3 - A diversidade e a ubiquidade.....	22
Figura 4 - Índice de Complexidade Econômica (ICE) e as medidas de governança e de qualidade institucional em relação ao crescimento da renda per capita	24
Figura 5 - Relação entre a renda per capita e o Índice de Complexidade Econômica	26
Figura 6 - Visualização das principais relações na tabela insumo-produto.....	32
Figura 7 - A estrutura de rede da Internet por grupos de computadores que se conectam.....	35
Figura 8 - Mini rede dos 10 principais setores compradores de insumo-produto mundial de 2000 (graus de entrada ponderados).....	46
Figura 9 - Mini rede dos 10 principais setores compradores de insumo-produto mundial de 2014 (graus de entrada ponderados).....	47
Figura 10 - Mini rede dos 10 principais setores vendedores de insumo-produto mundial de 2000 (graus de saída ponderados)	49
Figura 11 - Mini rede dos 10 principais setores vendedores de insumo-produto mundial de 2014 (graus de saída ponderados)	50
Figura 12 - Rede de compra e venda de insumo-produto do Brasil	51
Figura 13 - A matriz de coeficientes do Brasil.....	52
Figura 14 - Rede de compra e venda de insumo-produto dos Estados Unidos	55
Figura 15 - A matriz de coeficientes dos Estados Unidos.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos da tabela insumo-produto	33
Tabela 2 - Frequência e classificação dos 10 maiores setores na rede global de compradores de insumo-produto (graus de entrada ponderados).....	43
Tabela 3 - Frequência e classificação dos 10 maiores setores na rede global de vendedores de insumo-produto (graus de saída ponderados).....	45
Tabela 4 - Graus de entrada ponderados do Brasil.	53
Tabela 5 - Graus de saída ponderados do Brasil.	54
Tabela 6 - Graus de entrada ponderados dos Estados Unidos.	57
Tabela 7 - Graus de saída ponderados dos Estados Unidos.	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.2 Objetivos.....	11
1.2.1 <i>Objetivo geral.....</i>	<i>11</i>
1.2.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>11</i>
1.3 Estrutura do trabalho.....	11
2 A EVOLUÇÃO PROSEGUE DO CRESCIMENTO PARA A COMPLEXIDADE ECONÔMICA.....	13
2.1 A teoria do crescimento econômico no século XX.....	13
2.2 A complexidade econômica no século XXI.....	17
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	28
3.1 Referencial teórico.....	29
3.2 As interações setoriais diretas e indiretas.....	30
3.3 Conceitos gerais da teoria de redes complexas, suas propriedades e aplicabilidades.....	34
3.3.1 <i>Redes aleatórias, redes small world e redes livres de escala.....</i>	<i>36</i>
3.3.2 <i>Coefficiente de aglomeração, distribuição de graus.....</i>	<i>38</i>
3.4 A matriz insumo-produto e a estrutura de redes complexas.....	38
3.5 Agrupamentos dos dados da matriz insumo-produto e as relações de compra e venda.....	41
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Os 10 maiores setores em nível de frequência nas redes globais de compradores e vendedores de insumo-produto de 2000 e 2014.....	43
4.2 As mini redes com os 10 principais setores compradores e vendedores de insumo-produto de 2000 e 2014.....	46
4.3 Uma comparação entre as redes de insumo-produto do Brasil e dos Estados Unidos.....	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A teoria do crescimento econômico tem vários capítulos importantes. Harrod (1939) e Domar (1947) contribuíram separadamente com suas teorias em que a demanda efetiva exercia um papel central. Contudo, tais modelos previam uma trajetória de crescimento instável. Essa característica foi enfrentada pela contribuição de Solow (1956), que buscou na teoria microeconômica convencional os fundamentos para a flexibilidade na alocação dos fatores, com acumulação de capital e crescimento sustentado no longo prazo pela tecnologia exógena.

A teoria do crescimento econômico teve seu ápice com o surgimento de modelos que procuravam endogenizar o progresso tecnológico. Arrow (1962) com sua teoria *learning by doing* (aprender fazendo) e Lucas (1988) com a acumulação de capital humano, são os pioneiros na procura pelos determinantes do progresso técnico endógeno que, para além da acumulação de capital físico, resultem em aumento da produtividade dos fatores. Na investigação dos determinantes endógenos do progresso técnico, Romer (1990) expõe as ideias inovadoras como geradoras do processo evolutivo e acumulativo do conhecimento técnico-científico.

A teoria do crescimento endógeno desdobrou-se nos anos 1990 em direção aos modelos schumpeterianos, que trataram o progresso técnico – a inovação – como um paradigma que evolui num ciclo de renovação que substitui o antigo pelo novo por meio da “destruição criativa”. Neste sentido, Aghion e Howitt (1998) desenvolveram modelos em que a existência de perdedores e ganhadores no processo de mudança tecnológica ocupa papel central no processo de crescimento.

Desenvolvimentos recentes renovaram as atenções ao processo de crescimento econômico. Hausmann e Hidalgo (2009) avançaram em um modelo que considera os fluxos interativos de informações de conhecimento técnico-científico entre os setores produtivos em cadeias globais de valor. Porém, muito desse conhecimento exige elevada qualificação e também são de difícil transmissão (tanto de mão de obra quanto dos meios de produção de bens intermediários e finais produzidos na fronteira tecnológica), restringem-se localmente a determinados países e resultam, assim, em alto valor adicionado por seus produtos a serem vendidos no mercado doméstico e no mercado internacional e, conseqüentemente, geram aumento expressivo do Produto Interno Bruto (PIB).

Nesse contexto, o índice de complexidade econômica criado por Hausmann *et al.* (2011) quantifica os níveis de complexidade por meio da mensuração das exportações dos

bens com características de maior ou menor incorporação tecnológica, por meio do grau de ubiquidade de cada produto dentro da estrutura interna da cadeia produtiva de um país. Os autores exploram o índice de complexidade por meio da utilização da técnica da análise de redes, um ramo da matemática discreta.

Entretanto, o trabalho de Hausmann *et al.* (2011) limita-se a dados de exportação, excluindo a influência da produção de bens comercializáveis não exportados, os serviços exportados, os produtos reexportáveis e as atividades econômicas entre residentes restritas à mesma região ou país.

A complexidade nas estruturas de rede descrevem os fatores de produção envolvidos, a importância entre os elos da cadeia e as interdependências entre os setores de maior ou menor peso econômico.

Para contornar essa limitação pode ser utilizada a teoria da matriz insumo-produto para a construção de redes complexas, ao invés do valor das exportações. A teoria de insumo-produto detecta a interdependência da relação entre insumos e produtos acabados no processo produtivo. Segundo Guilhoto (2011), tendo como ponto de partida o modelo básico de Leontief (1941), a matriz insumo-produto, num determinado ponto no tempo, identifica os setores que se relacionam e que revelam a agregação de valor ao produto final, desde os produtos primários, intermediários, até os de alto conteúdo tecnológico.

Outros autores já utilizaram a análise de redes baseada na teoria da matriz insumo-produto. Acemoglu *et al.* (2012) analisaram a rede de relações intersetoriais da economia dos Estados Unidos de 1972 a 2002. Os autores argumentam que, na presença de vínculos intersetoriais de entrada e saída de insumos e bens intermediários, choques idiossincráticos microeconômicos podem resultar em flutuações agregadas. Uma característica do estudo, entretanto, é a não consideração do peso das relações intersetoriais. Ou seja, os autores usaram as ligações sem ponderar pelo seu peso econômico correspondente, limitando-se apenas a excluir da análise os pesos das relações intersetoriais inferiores a 5% das compras totais de insumos de um setor, sendo estabelecida uma ligação entre esse setor e o fornecedor de insumos. (ACEMOGLU, Daron et al., 2012, p.1980)

É nesse contexto que o presente trabalho se insere, procurando explorar a compatibilização entre as aplicações da teoria de redes com a teoria insumo-produto. Ao contrário de Acemoglu *et al.* (2012), procurou-se explorar como o peso das relações intersetoriais pode ser modelado em redes. Para tanto, utilizam-se dados do *World Input-Output Database (WIOD)*, uma base recente que reúne tabelas de insumo-produto de 43

países e o Resto do Mundo (APÊNDICE B) e seus 56 setores (APÊNDICE A), conectados intersetorialmente nos anos de 2000 e 2014.

Motivado por essas considerações, o presente trabalho visa responder à seguinte questão: quais foram as propriedades de rede da matriz insumo-produto mundial no período de 2000 e 2014?

1.2 Objetivos

Nesta seção apresentam-se os objetivos da presente pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da presente monografia é explorar a aplicação e analisar economicamente as propriedades de rede da matriz insumo-produto mundial (WIOD) no período de 2000 e 2014.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos citam-se:

- I. Revisar a literatura econômica sobre crescimento econômico, matriz insumo-produto e redes complexas;
- II. Realizar um levantamento de dados secundários do *World Input-Output Database-WIOD* e estimar a estrutura de rede da matriz insumo-produto para um conjunto de quarenta e três países e o Resto do Mundo;
- III. Analisar as propriedades de rede da matriz insumo-produto e as relações intersetoriais dos países pela teoria econômica no período de 2000 e 2014.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Além da introdução apresentada acima, no Capítulo 2 apresentamos as teorias modernas do crescimento econômico passando pelas contribuições teóricas do século XX ao século XXI, nas Seções 2.1 e 2.2. Essa revisão

teórica não pretende esgotar os conceitos de crescimento, mas sim elencar, tanto quanto possível, as principais contribuições nesse campo.

Já no Capítulo 3, os procedimentos metodológicos, inicialmente na Seção 3.1, fazemos uma rápida introdução ao referencial teórico e, em seguida, apresentamos na Seção 3.2 as interações em cadeias de produção de outros autores aplicadas à matriz insumo-produto. Na Seção 3.3, mostramos os conceitos de redes complexas e suas propriedades e aplicabilidades. Já na Subseção 3.3.1, descrevemos três tipos diferentes de redes e suas características e, na Subseção 3.3.2, apresentamos propriedades de medida das estruturas de redes. Na Seção 3.4, apresentamos os conceitos matemáticos da matriz de Leontief em conjunto com a teoria dos grafos. Na subsequente Seção 3.5, descrevemos os procedimentos de coleta e tratamento dos dados utilizados na análise.

O Capítulo 4 versa sobre as análises e resultados do trabalho, dividido nas Seções 4.1 e 4.2, as quais mostram os principais setores e seus pesos econômicos inter-relacionados em estruturas de redes complexas. Já a Seção 4.3 compara as estruturas de redes do Brasil e Estados Unidos, destrinchando as características distintas das estruturas de rede desses dois países.

Por fim, no Capítulo 5, sintetizamos os objetivos alcançados, os resultados gerados pela análise dos dados e as conclusões e indicações para futuros temas de pesquisa.

2 A EVOLUÇÃO PROSEGUE DO CRESCIMENTO PARA A COMPLEXIDADE ECONÔMICA

A teoria clássica desenvolveu uma base ampla de conhecimento sobre o crescimento econômico em épocas como a revolução industrial. Entretanto, esta seção restringe-se à teoria moderna do crescimento e complexidade econômica.

2.1 A teoria do crescimento econômico no século XX

Harrod (1939) apresenta as condições de crescimento equilibrado em função da taxa de crescimento garantida. Em um determinado ponto de interseção entre oferta e demanda agregadas, com um dado nível de renda e poupança, a própria tendência ao crescimento pode gerar forças centrífugas, as quais induzem ao hiato entre a taxa de crescimento real e a taxa de crescimento garantida sucessivamente, ou seja, quando os produtores se deparam com excesso (insuficiência) de estoque de produtos ou equipamento, estes são incentivados a expandir (reduzir) o nível de produção e, conseqüentemente, tem-se um aumento (redução) da renda. Essa é uma característica de crescimento econômico dinâmico altamente instável.

A condição única e instável de crescimento equilibrado também foi apresentada por Domar (1947). O autor destaca que, para o crescimento da renda e o pleno emprego dos fatores, a taxa de crescimento do investimento deve igualar-se ao produto potencial de produtividade média social de investimento, σ , e a propensão a poupar, α . O investimento incremental é apresentado como o gerador de crescimento da renda nacional que, também, gera um duplo efeito pelo seu multiplicador e pelo aumento da capacidade produtiva de um país. Entretanto, as variáveis de sua equação fundamental são independentes, por isso, nada garante essa igualdade.

Devido às semelhanças nos resultados conclusivos, esses dois modelos, foram simplesmente denominados de modelo Harrod-Domar, uma síntese que assume uma função de produção com coeficientes fixos e um crescimento instável, vulgarmente conhecido como “fio da navalha”.

O modelo de Solow (1956) procurou resolver o problema do “fio da navalha” com a variação dos coeficientes técnicos, ou seja, se aceita a substituição dos fatores no curto prazo. A proporção da renda poupada é plenamente investida, pressupondo nível de pleno emprego e a função de produção é definida em fatores de produção por trabalhador com retornos decrescentes. Juntamente com a quantificação de acumulação de capital por trabalhador, esse

modelo fornece o meio de quantificar a acumulação de capital que gere crescimento do produto *per capita*. Desta forma, extingue-se o problema de demanda efetiva em decorrência de seus fundamentos teóricos.

Assim, a evolução de modelos teóricos de crescimento econômico, levou a modelos com ênfase na importância da demanda efetiva, como Harrod (1939) e Domar (1947), outros procuram ainda os fundamentos mais convencionais baseados em Solow (1956) para modelar suas teorias. Todavia, uma das críticas mais contundentes ao modelo de Solow está em sua pressuposição de que o progresso técnico é exogenamente determinado.

Com isso, tem-se a busca por uma resposta por meio de modelos posteriores preocupados com a endogenização da evolução tecnológica, como o fator determinante para um crescimento sustentável no longo prazo.

Entre as teorias modernas que definem o capital humano como elemento chave para o crescimento sustentável no longo prazo, Arrow (1962) destaca seu conceito *learning by doing* – inserido ao modelo de Solow (1956) – resultante de aumentos de produtividade dos fatores de produção. Para Arrow (1962), o novo capital físico incorpora o conhecimento acumulado de investimentos anteriores, isto é, o conhecimento gerado no processo de criação do capital físico das firmas, ao longo do tempo, foi acumulado. Assim, principalmente no processo de “aprender fazendo”, criam-se resultados diretos individuais para cada investidor que, ao serem somados, ocorrem benefícios indiretos, externalidades positivas, em decorrência desse estoque de conhecimento, em favor da sociedade.

Nas décadas de 1980 e 1990 surgem teorias novas complementares de crescimento econômico devido ao maior conhecimento sobre as causas de ineficiências no mercado e, também, devido à importância do capital humano como variável explicativa endógena.

Na ênfase de Lucas (1988) sobre a escolarização como fator preponderante na acumulação de capital humano e crescimento econômico sustentável, tem-se uma função utilidade do tempo dispendido entre a produção de capital físico e a acumulação de capital humano. Ou seja, um tempo maior dedicado a esta acumulação proporciona não apenas um efeito individual, mas também um efeito indireto de elevação da produtividade média social. Isto é, este tempo maior investido em capital humano se reflete na própria produtividade da relação capital-trabalho, com externalidades positivas.

As contribuições de Romer (1990) também trouxeram a possibilidade de incorporar o progresso técnico como variável endógena. Por meio da economia das ideias este autor apresentou as inovações tecnológicas criadas pelos pesquisadores, a partir das ideias não-

rivais, juntamente com a necessidade de adquiri-las e incorporá-las aos bens rivais no setor intermediário monopolizado.¹

Desta forma, a produção de ideias deve assumir determinados graus de exclusividade de cunho rival de seus novos produtos ou serviços gerados no campo da pesquisa e desenvolvimento, P&D. Com isso, os custos iniciais para criação da primeira unidade costumam ser elevados, porém, após a ideia materializar-se em bens comercializáveis, seu custo médio decresce com custo marginal constante e retornos crescentes à escala, pois no modelo de Romer (1990) a procura por novas ideias é crescente e cumulativa ao longo do tempo, condições estas que levariam à definição de preços negativos em concorrência perfeita. Assim, a busca por lucros, neste caso, exige condições de concorrência imperfeita.

Para promover ideias inovadoras em P&D, o elevado grau de conhecimentos dos pesquisadores envolvidos torna-se indispensável para aumentar as estimativas de sucesso, ou seja, que cubram os altos custos iniciais da pesquisa e gerem lucros.

O denominado capital humano é destacado, também, nas contribuições empíricas sobre a teoria do crescimento de Mankiw, Romer e Weil (1992). A partir do modelo de Solow (1956) aumentado pelo capital humano, eles apresentam evidências importantes, principalmente quando se comparam os modelos com e sem capital humano. Neste contexto, a popança e o crescimento populacional, respectivamente, diretamente e inversamente proporcional à renda *per capita*, são coerentes em relação ao modelo básico, porém, não evidenciam sua magnitude. Assim, o modelo aumentado pelo capital humano torna-se a variável endógena explicativa que procura elucidar os graus de correlação das variáveis na elevação da renda *per capita*.

A busca por respostas para o crescimento econômico com tecnologia endógena também foi desenvolvida por Aghion e Howitt (1998), com base na teoria schumpeteriana, por meio de um modelo básico que descreve o crescimento resultante das inovações bem-sucedidas que, em meio ao processo de pesquisa e desenvolvimento, surgem de forma aleatória. Isto é, um crescimento com inovações verticais, segundo Aghion e Howitt (1998), a nova invenção gerada pela pesquisa ocupa o espaço no mercado das tecnologias concorrentes já existentes e que entram em estágio de obsolescência, através da “destruição criativa” schumpeteriana.

A inovação é monopolizada, conforme destacado por Aghion e Howitt (1998), pela firma detentora do direito de propriedade (ou patentes) para obter a renda, neste caso o lucro

¹ Ideias para o modelo de Romer (1990) são as invenções criadas por pesquisadores que geram novas formas de combinar matérias-primas na produção de novos bens e com maior qualidade.

monopolístico, gerada pelo bem intermediário. Contudo, há externalidades positivas nas inovações atuais que transbordam para os pesquisadores que investem nas inovações futuras. Mas também existem externalidades negativas em que as firmas proprietárias da inovação não incorporam as perdas geradas quando uma nova invenção torna a antiga obsoleta e, com isso, mercados são reduzidos ou extintos, dando lugar ao novo bem que incorpora a tecnologia inovadora.

O poder de mercado constituído pela inovação incentiva as firmas a investirem em P&D para criação de novas invenções futuras e, assim, manterem o monopólio nos períodos cíclicos da “destruição criativa”. Devido a isso, quanto maior a concorrência nos mercados, menor será o incentivo em pesquisa e, conseqüentemente, menor será a produtividade em decorrência da diminuição da criação de novas tecnologias inerentes aos bens intermediários, os quais são insumos primordiais à produção de bens finais.

Para Aghion e Howitt (1998), as organizações têm estruturas definidas por regras hierárquicas especificamente relacionadas entre firmas com funcionários pesquisadores submetidos a acordos contratuais. Todavia, tanto as pesquisas no campo acadêmico quanto as pesquisas aplicadas estão sendo, principalmente no setor industrial, integradas verticalmente, ou seja, a produção, comercialização e distribuição estão cada vez mais concentradas no gerenciamento de uma mesma firma.

Conforme indicado por Aghion e Howitt (1998), a pesquisa básica é comumente realizada por universidades ou centro de pesquisas independentes. Porém, as inovações desenvolvidas no processo de “destruição criativa” necessitam de renovações intertemporais que, influenciadas pelo lucro monopolístico adquirido por patentes ou direitos de propriedade, possibilitem a obtenção de resultados positivos devido a um maior investimento em pesquisa aplicada.

Com informações assimétricas, contratos incompletos, segundo Aghion e Howitt (1998), justifica-se a intervenção do governo na alocação de investimento em pesquisa e na aplicação jurídica dos direitos de propriedade intelectual (ou patentes) sobre as inovações, que possibilitam lucros monopolísticos, porém, essa monopolização produz externalidades tanto positivas, devido aos transbordamentos, quanto negativas, em decorrência da não captação das perdas geradas no processo de “destruição criativa” pelo inovador. Entretanto, há grandes probabilidades de que o governo também não consiga o fornecimento ótimo de investimento em pesquisa, ou seja, o governo pode fornecer subsídios demais para firmas de baixa produtividade, como também pode ofertar subsídios em níveis baixos para firmas altamente

produtivas. Isto em decorrência de ineficiências econômicas, ou influências políticas que distorçam uma alocação eficiente dos recursos públicos em inovação.

As inovações que superam antigas tecnologias e processos produtivos, segundo a teoria schumpeteriana, também são mencionadas por Acemoglu e Robinson (2012). Para eles, o surgimento de novas tecnologias impulsionadoras do crescimento deve ser garantido em ambiente com centralização de poder do Estado-Nação, devido aos direitos de propriedade, organização de grupos sociais, evitando práticas de instituições extrativistas que concentram a renda em poder de uma elite privilegiada. Assim, por meio de instituições inclusivas com maior pluralidade social e política, assim como uma melhor distribuição dos ganhos econômicos, a “destruição criativa” é estimulada.

As teorias até aqui apresentadas revelam importância e limitações à análise dos determinantes do crescimento econômico. Contudo, a busca pela correlação dos elementos que, ao final, são inerentes aos processos produtivos que se tornaram altamente complexos. Estes agregam maior grau de instrução em vários níveis da cadeia produtiva, acumulação de capital, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, busca por inovações e poder de mercado ao longo dos ciclos econômicos, e o papel do governo na alocação de recursos que possibilite a geração de desenvolvimento econômico. Hidalgo e Hausmann (2009) sugerem novos direcionamentos para os determinantes do crescimento em redes de estruturas econômicas complexas, destacadas na próxima seção.

2.2 A complexidade econômica no século XXI

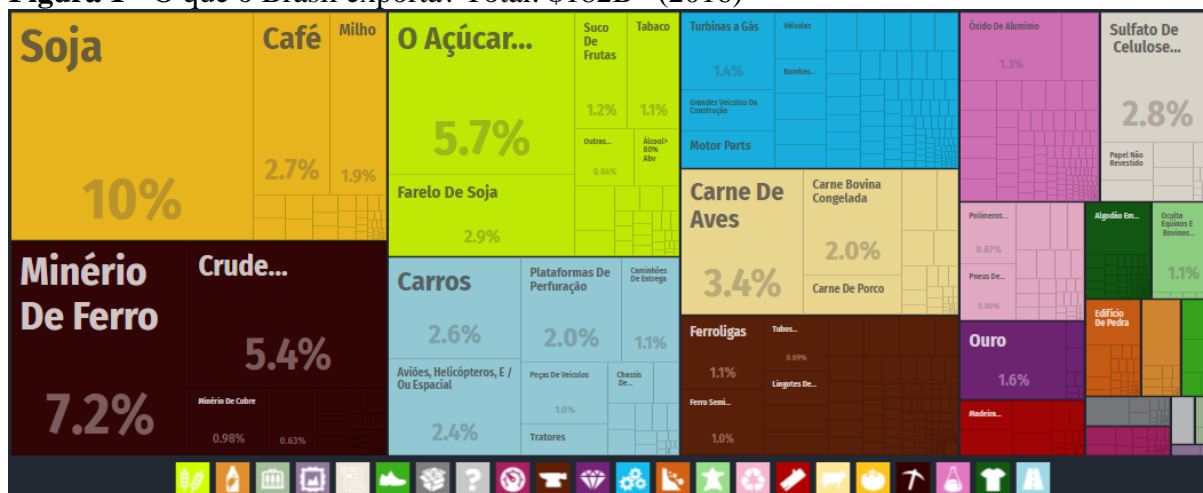
Hausmann *et al.* (2011) desenvolveram o Atlas da Complexidade Econômica que objetiva mapear os países que se tornam complexos em decorrência do conhecimento e da tecnologia incorporados nos produtos gerados em cada um destes. Esse mapeamento (Figura 1) procura quantificar o conhecimento socialmente acumulado incorporado no processo produtivo que cada nação detém.

Observa-se na Figura 1 como se distribui os bens produzidos no Brasil, percentualmente. Estruturado de forma hierárquica, cria-se um mapa de árvore que se divide em blocos e exibe os percentuais quantitativos em cada retângulo, os quais se aglomeram em conjuntos de retângulos hierarquicamente destacados, da esquerda para a direita da visualização.

A soja (Figura 1), por exemplo, encontra-se no topo da hierarquia, com maior volume de exportações, categorizado como produtos hortícolas. Também são apresentadas outras

várias categorias como: produtos minerais (minério de ferro e petróleo); transporte (carros e aviões); produtos de origem animal (carne de aves e carne bovina); sempre distribuídos de forma hierárquica no mapa.

Figura 1 - O que o Brasil exporta? Total: \$182B* (2016)



Fonte: *The Observatory of Economic Complexity*.

*Em bilhões de dólares.

Segundo Hausmann *et al.* (2011), o conhecimento acumulado ao longo do tempo resulta em produtividade quando é socialmente utilizado, pois individualmente uma pessoa não seria capaz de acumulá-lo totalmente, aplicando-o na produção de um bem. Assim, os produtos mais sofisticados, em geral, incorporam esse conhecimento ou alta capacidade produtiva social através da divisão do trabalho e, conseqüentemente, pela maior especialização desse conhecimento em cada indivíduo. Isto é, a eficiência produtiva não está individualizada, mas sim agregada na sociedade por meio de combinações feitas entre as capacidades de cada indivíduo inerentes ao processo produtivo.

Devido à importância desse conhecimento socialmente aplicado, Hausmann *et al.* (2013, p.15, tradução nossa) destacam que “Mercados e organizações permitem que o conhecimento que é mantido por poucos atinja muitos. Em outras palavras, eles nos fazem coletivamente mais sábios”.

Nessa interação social cognitiva que se acumula nas relações de mercado, dois tipos de conhecimento – explícito e tácito – são apresentados por Hausmann *et al.* (2013), com ênfase no conhecimento tácito devido à dificuldade em transmiti-lo para outra pessoa.²

² Conhecimento explícito é facilmente transferível, por exemplo, em livros, enquanto o conhecimento tácito é de difícil assimilação, ou seja, adquire-se pela prática ao longo do tempo e, portanto, de difícil transferência.

O problema é que partes cruciais do conhecimento são tácitas e, portanto, difíceis de incorporar às pessoas [...], não faz sentido para todos nós passarmos a vida aprendendo a fazer tudo. Pois, por ser de difícil transferência, o conhecimento tácito é o que restringe o processo de crescimento e desenvolvimento. Em última análise, as diferenças na prosperidade estão relacionadas à quantidade de conhecimento tácito que as sociedades mantêm e à sua capacidade de combinar e compartilhar esse conhecimento (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 16, tradução nossa).

Desta forma, com a acumulação de conhecimento, o aumento da capacidade produtiva de um país surge pela interação do conhecimento individual especializado, em combinações na produção de bens, favorecendo o crescimento da renda nacional. Por isso, a multiplicidade da capacidade produtiva social denota sua relação positiva com a complexidade das cadeias produtivas e o conhecimento necessário para criação de bens de alta tecnologia incorporada (HAUSMANN, *et al.*, 2013).

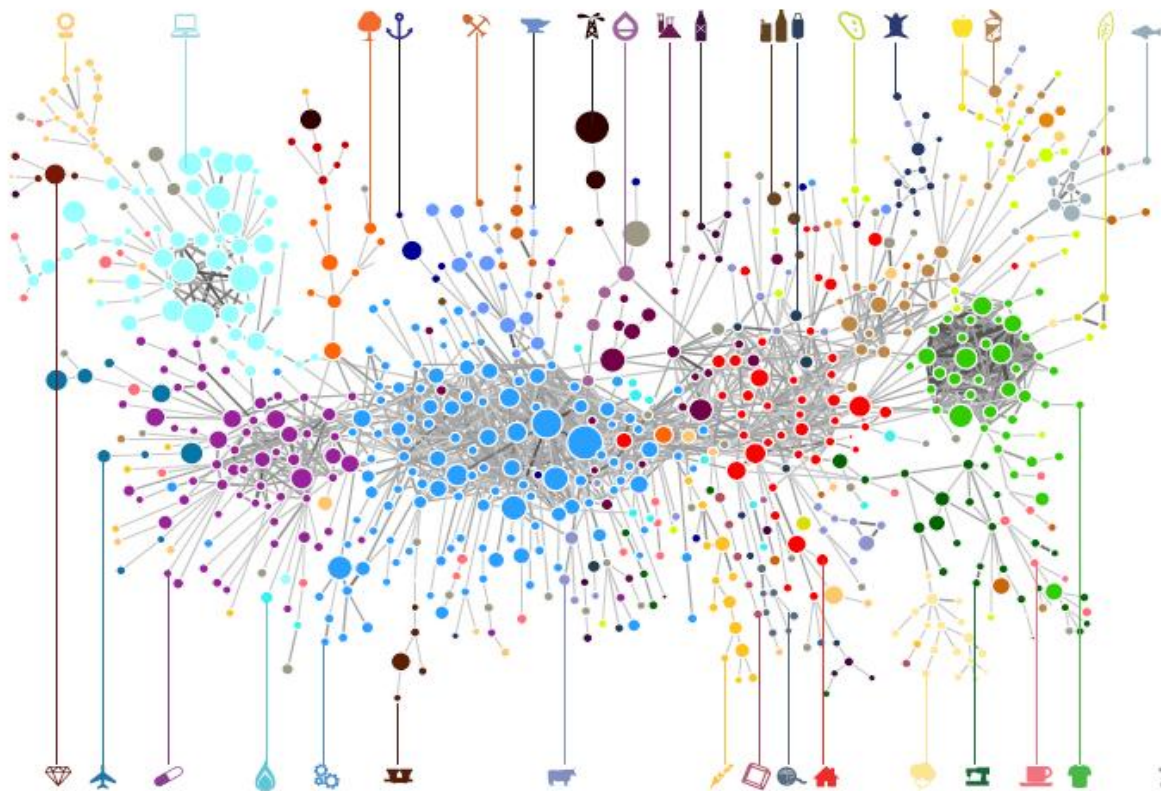
Para Hausmann *et al.* (2013), devido ao conhecimento, principalmente o tácito, há bens e serviços que só podem ser produzidos localmente, ou seja, ficam restritos a poucos países capazes dessa produção:

Economias complexas são aquelas que podem unir vastas quantidades de conhecimento relevante, através de grandes redes de pessoas, para gerar uma mistura diversificada de produtos intensivos em conhecimento. As economias mais simples, ao contrário, têm uma base mais estreita de conhecimento produtivo e, como resultado, produzem produtos menores e mais simples, exigindo redes de interação menores. Como os indivíduos são limitados naquilo que sabem, a única maneira pela qual as sociedades podem expandir sua base de conhecimento é facilitando a interação de indivíduos com diferentes conjuntos de conhecimento em redes cada vez mais complexas de organizações e mercados (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 18, tradução nossa).

Assim, os países detentores de grande acúmulo de conhecimento desenvolvem redes de setores interconectados, através de incrementos que cada indivíduo fornece na produção social, por uma diversidade de produtos próximos pela estrutura tecnológica já existente.

Devido a essa proximidade decorrente de uma base produtiva comum, os países não se especializam na produção de uma mercadoria ou serviço porque desejam fazê-lo, mas sim porque podem produzi-lo em decorrência do espaço do produto, este destacado na Figura 2. Isto é, o espaço do produto refere-se à proximidade de bens em decorrência de capacidades produtivas similares que se conectam, moldando estruturas econômicas em redes complexas (HAUSMANN *et al.* 2013).

Figura 2 - Visualização do espaço do produto por meio do OEC*



Fonte: *The Atlas of Economic Complexity Mapping Paths to Prosperity*. (HAUSMANN, Ricardo *et al.* 2013, p. 52).

**Observatory of Economic Complexity*.

O espaço do produto apresentado na Figura 2 revela a conexão entre produtos co-exportáveis que se aglomeram em *clusters* de setores interagindo entre si, mas que se conectam com outros conglomerados em elos de uma cadeia produtiva, dentro de uma rede ampla e complexa, resultando, assim, em níveis de agregação de valor ao produto em decorrência do grau de complexidade dessa interação dos bens co-exportáveis, correlacionados ao crescimento econômico de cada um desses países.

Essa capacidade torna-se possível quando pessoas e organizações fornecem e combinam o conhecimento socialmente necessário e, desta forma, o caminho para o desenvolvimento e crescimento sustentável, ao longo do tempo, são facilitados tanto no progresso técnico quanto em uma maior diversificação produtiva.

Quantificar o nível de conhecimento como variável indutora do crescimento, que um determinado país pode ou não possuir, é uma tarefa difícil em decorrência de prováveis implicações que não foram observadas. Devido a isso, Hausmann *et al.* (2011) procuraram a relação entre aumento da renda nacional e o grau de interconectividade produtiva por meio do

comércio internacional, revelando forte correlação de países ricos e pobres, respectivamente, com maior e menor complexidade econômica.

A medida de complexidade econômica desenvolvida por Hausmann *et al.* (2011) baseia-se na diversidade e características distintas de determinados produtos. Estes bens embutem o conhecimento e a tecnologia necessária para produzi-los, revelando o quão complexo o processo de um país é produtivo. Além disso, estes autores também consideram os produtos que denotam maior ou menor ubiquidade e que, ao combiná-la com a diversidade de bens para corrigir distorções de produtos não ubíquos em países detentores de recursos naturais raros, assim como identificar se a ubiquidade é por escassez ou por complexidade derivada da diversidade, são expostas as vantagens comparativas de cada nação³:

[...], produtos mais complexos são menos comuns, porque somente os países que possuem todo o conhecimento necessário podem produzi-los. Produtos que exigem pouco conhecimento devem ser mais onipresentes e vice-versa [...] A diversidade das exportações de um país é uma aproximação grosseira da variedade de capacidades disponíveis no país, assim como a onipresença de um produto é uma aproximação grosseira da variedade de recursos exigidos por um produto (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 20, tradução nossa).

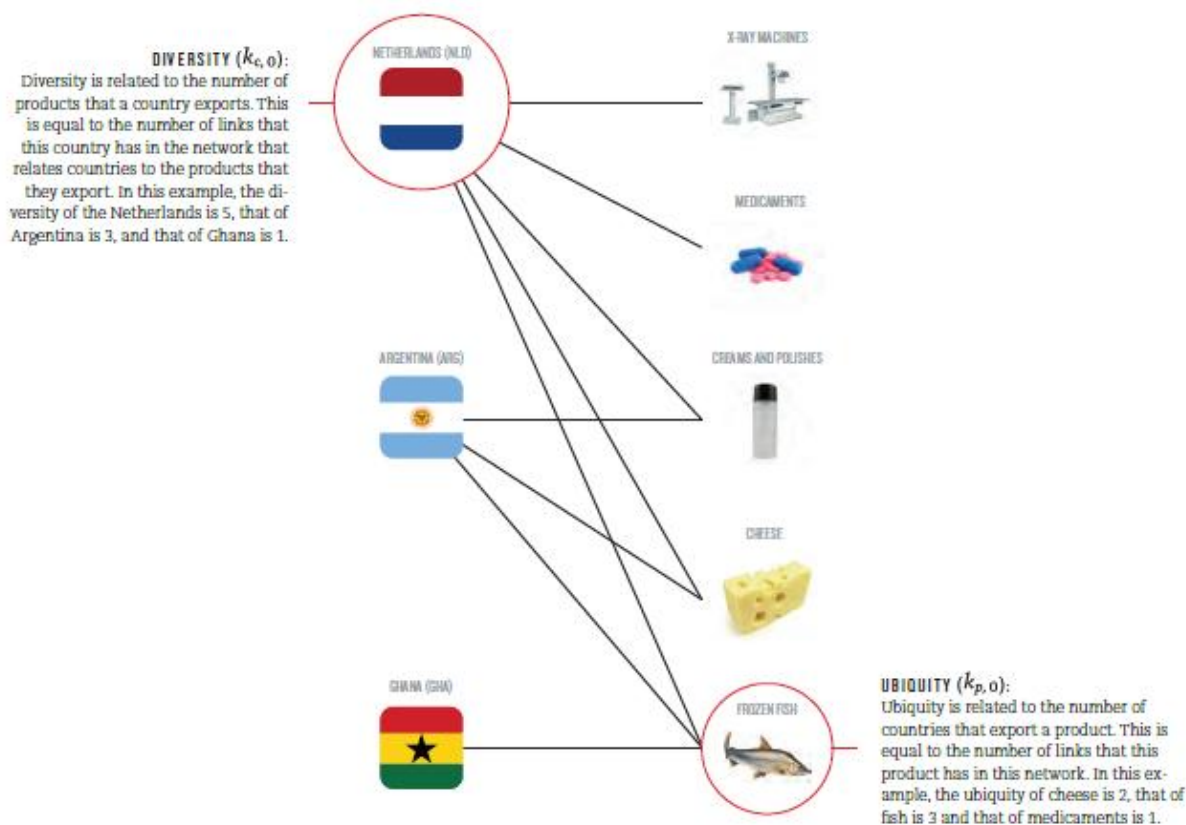
Neste contexto, a medida de complexidade econômica busca estimar qual a fração da capacidade produtiva global que um país possui, revelando seu grau de complexidade.

Na Figura 3, Hausmann *et al.* (2013) exemplificam a base lógica para a medição da complexidade por meio da interconectividade entre Países Baixos, Argentina e Gana.

A diversidade de produtos exportados pelos Países Baixos, do ponto de vista destes, é maior do que a dos outros países e, em comparação com os países Argentina e Gana, a nação Países Baixos revela ser a única capaz de produzir máquinas de raio-x e medicamentos. Já do ponto de vista do país Gana este exporta apenas o bem peixe que é comumente comercializado no mercado global e, em comparação com os outros países, apresenta uma pauta exportadora com pouca ou nenhuma diversificação. Portanto, os Países Baixos, comparativamente, com maior diversidade e capacidade de produzir bens que os outros países não o são, revela-se sua elevada complexidade econômica. Entretanto, a nação Gana, relativamente, apresenta baixa diversidade de produtos exportáveis e os bens exportados por esta são ubíquos, ou seja, sua estrutura produtiva é de baixa complexidade. Essa diferença entre estes países pode ser classificada e, conseqüentemente, pode-se construir o índice de complexidade econômica.

³ Produtos ubíquos são aqueles que muitos países conseguem produzir, enquanto os não ubíquos são produzidos por poucos países.

Figura 3 - A diversidade e a ubiquidade



Fonte: *The Atlas of Economic Complexity Mapping Paths to Prosperity*. (HAUSMANN, Ricardo *et al.* 2013, p. 21).

Contudo, a Figura 3 relata as conexões entre esses países por meio dos dados de comércio internacional, que impõem certos limites ao estimá-los:

Este Atlas baseia-se em dados do comércio internacional. Fizemos essa escolha porque é o único conjunto de dados disponível que tem ricas e detalhadas informações cruzadas sobre países, ligando as nações aos produtos que elas produzem usando uma classificação padronizada. Esses dados oferecem grandes vantagens, mas apresentam suas limitações (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 22, tradução nossa).

Os dados de exportação de um país, porém, não incluem informações de bens que não foram exportados, mas fazem parte do produto agregado. Também são dados de origem aduaneira que, neste caso, não inserem os serviços, assim como não informa sobre as atividades não transacionáveis, mas que impactam a formação da renda (HAUSMANN *et al.* 2011).

A comparação entre os países desenvolvida por Hausmann *et al.* (2013) baseia-se na definição de vantagens comparativas reveladas (VCR). Conforme a definição de Balassa (1964 *apud* Hausmann *et al.* 2013, p. 25, tradução nossa), diz-se que “um país tem Vantagem

Comparativa Revelada em um produto se este exporta mais do que sua “parte justa”, ou seja, uma parcela que é igual à parcela do comércio mundial total que o produto representa”.

Para expressar matematicamente a VCR, tem-se a equação:

$$VCR_{cp} = \frac{X_{cp}}{\sum_c X_{cp}} / \frac{\sum_p X_{cp}}{\sum_{c,p} X_{cp}}. \quad (1)$$

As exportações, X_{cp} , do produto p por país c denotam a vantagem comparativa revelada (VCR) pela equação 1 (HAUSMANN, Ricardo *et al.* 2013, p. 25).

A equação acima, segundo Hausmann *et al.* (2013), é utilizada para a mensuração e construção de uma matriz, M_{cp} , que conecta os países aos seus bens produzidos. Neste caso, será 1 na entrada da matriz, M_{cp} , se o país c exporta produtos p com VCR acima de 1 e, na condição contrária, o valor será zero. Formalizando:

$$M_{cp} = \begin{cases} 1 & \text{se } VCR_{cp} \geq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

Por meio da matriz, M_{cp} , sabe-se qual país faz o quê, como também é usada para se construir o espaço do produto e as medidas de complexidade econômica para cada um dos países relacionados aos seus bens exportáveis (HAUSMANN, Ricardo *et al.* 2013, p. 25).

Nesse contexto, a vantagem comparativa revelada, que mostra o espaço do produto e a medida de complexidade, é a razão entre a fração de um produto pelo seu total de produção nacional e a fração desse produto a nível global pelo total da produção mundial.

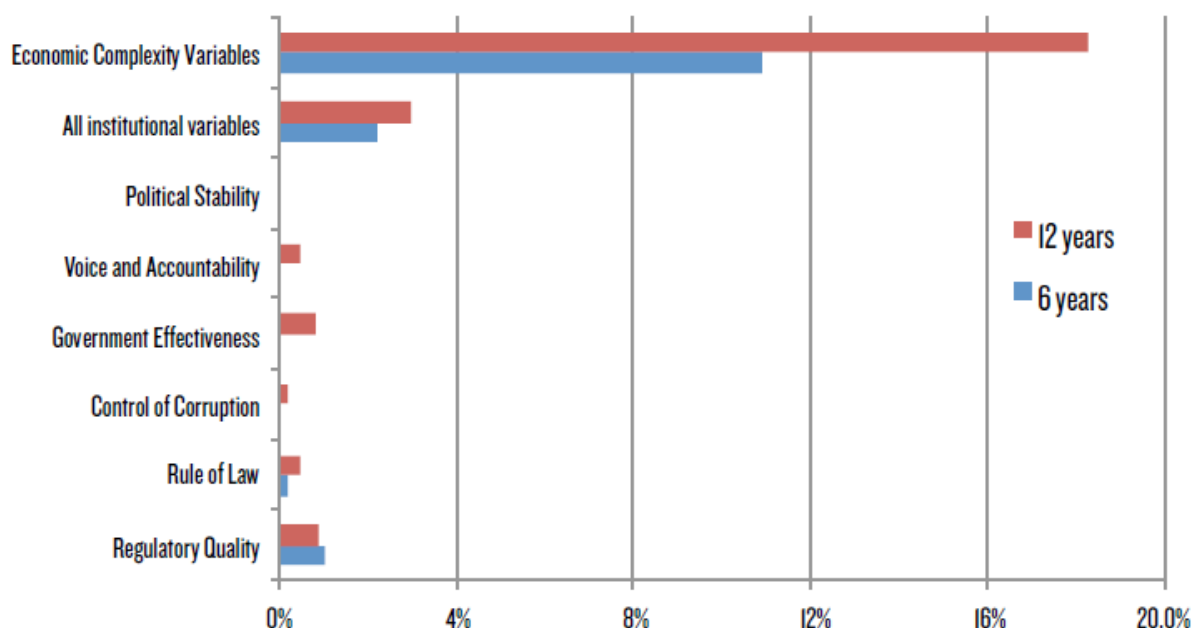
Segundo Hausmann *et al.* (2013), a complexidade econômica evidencia as diferenças de renda de países ricos e pobres, além de fornecer um meio de prever o crescimento futuro, pois cada país tende a desenvolver sua estrutura produtiva compatível com seu conhecimento social acumulado.

A análise de regressão dos dados de comércio exterior utilizada por Hausmann *et al.* (2013) revela forte correlação entre a renda *per capita* e o índice de complexidade econômica (ICE). Mesmo quando países são intensivos na exportação de recursos naturais, o ICE revela em média uma baixa diversidade de produtos na pauta exportadora destes países (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 27-30).

O índice de complexidade econômica (ICE) mostrou ser uma medida de alto poder explicativo, pois ao compará-lo com outros indicadores como os seis indicadores *Worldwide*

Governance Indicators (WGI), esses índices captam indiretamente a qualidade de governança dentre as instituições dos países que são avaliados. A Figura 4 mostra as diferenças de cada um dos seis indicadores WGI de qualidade institucional – estabilidade política; voz e responsabilidade; eficácia do governo; controle da corrupção; estado de direito e qualidade regulatória como também todas as variáveis institucionais juntas, em comparação com o ICE.⁴

Figura 4 - Índice de Complexidade Econômica (ICE) e as medidas de governança e de qualidade institucional em relação ao crescimento da renda *per capita*



Fonte: *The Atlas of Economic Complexity Mapping Paths to Prosperity*. (HAUSMANN, Ricardo *et al.* 2013, p. 36).

Comparativamente, o capital humano utilizado como variável explicativa da teoria do crescimento econômico endógeno, segundo Hausmann *et al.* (2013), considera o grau de instrução formal, já o índice de complexidade econômica (ICE) prioriza o conhecimento tácito da produção:

As habilidades necessárias para fazer esses produtos são adquiridas principalmente no trabalho. É por isso que os anúncios de emprego costumam exigir anos de experiência particular, não apenas anos de escolaridade. Na verdade, o que um país produz determina os tipos de habilidades que seus cidadãos podem adquirir através da experiência no trabalho. A abordagem do capital humano baseado na educação ignora esse fato importante, assumindo implicitamente que os estudos formais dos trabalhadores são as variáveis que afetam o que uma sociedade é capaz de produzir (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 36-37, tradução nossa).

⁴ *Worldwide Governance Indicators* (WGIs) são seis indicadores de governança que medem a qualidade das instituições e são publicadas pelo Banco Mundial. (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 35).

Enquanto o capital humano baseia-se no tempo despendido em educação de cada indivíduo, o ICE obtém o total de conhecimento, principalmente tácito, socialmente incorporado nos bens produzidos.

Além disso, Hausmann *et al.* (2013) analisam também as diferenças empíricas de medidas de competitividade como o *World Economic Forum's Global Competitiveness Index* (GCI) que contribui menos do que o ICE; medidas de aprofundamento financeiro (que oferecem uma previsão de crescimento futuro estatisticamente menor do que o ICE) e, também, medidas de sofisticação de exportação, que usam dados do PIB dentre países que exportam o mesmo produto, ao contrário do ICE que estima as relações de redes de conexões entre os países analisados.⁵

As análises empíricas destes autores (HAUSMANN *et al.* 2013) mostram que o ICE tem maior poder de explicação e, principalmente, de previsão do crescimento futuro dos países em comparação aos outros indicadores e medidas destacadas nos parágrafos anteriores.

Com base nas observações empíricas do ICE de Hausmann *et al.* (2011), outros estudos sobre o crescimento econômico foram apresentados por Gala (2015; 2017) que, ao trazer a discussão de redes complexas para a América Latina, fundamenta suas teorias mediante a Escola Estruturalista.

Para Prebisch e Furtado, conforme destacado por Gala (2017), somente uma industrialização robusta pode assegurar a elevação do emprego, da produtividade e da renda *per capita* de um país e, caso das nações latino-americanas, que reduza sua pobreza em uma economia mundial separada entre centro e periferia.⁶ Para isso, podemos esclarecer acerca dos vários ligamentos entre os produtos que mostram como estes formam as redes complexas, pois, segundo Gala (2017), as características similares de bens co-exportáveis agem no processo de encadeamento produtivo, onde produtos altamente conectados têm forte correlação com o potencial de conhecimento e tecnologia.

Segundo Gala (2015), bens de elevada complexidade localizam-se no centro do espaço produtivo, enquanto os de baixa complexidade encontram-se na periferia. Ou seja, níveis

⁵● *World Economic Forum's Global Competitiveness Index* (GCI) é um índice de competitividade publicado pelo Global Competitiveness Report (GCR). (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 38);

● Medidas de aprofundamento financeiro - aumento da oferta de produtos financeiros. (HAUSMANN *et al.* 2013, p. 40);

● Medidas de sofisticação de exportação - uma medida de sofisticação de produtos de exportação correlacionada com o crescimento futuro. Hausmann, Hwang e Rodrik (2007 apud HAUSMANN *et al.* 2013, p. 41);

⁶ Centro – países desenvolvidos; periferia – países em desenvolvimento.

alguns países podem apresentar renda elevada sem ser complexos produtivamente. Entretanto, a alta correlação revelada pelo índice de complexidade econômica mostra que quanto mais complexa uma dada economia, maior será a probabilidade de esta adquirir uma renda maior. Para Hausmann *et al.* (2011), a complexidade econômica está relacionada, mas não somente isso, com o nível de prosperidade de um país.

Essa complexidade se revela como fator determinante no crescimento de um país, pois, conforme indicado por Hausmann *et al.* (2011), países com uma estrutura econômica complexa, acima do que se espera por meio de sua renda, tendem a crescer mais rapidamente, em contraste com os países relativamente ricos em comparação com seu grau de complexidade econômica.

A análise da complexidade econômica proporciona forte correlação entre os níveis de maior ou menor renda dos países e o grau de complexidade exigida para a produção de bens, como também o conhecimento e a tecnologia necessários no processo que, em determinados países, são produzidos por poucos. Por outro lado, os níveis de economias relativamente complexas denotam uma maior distribuição da renda devido às estruturas de alto poder de encadeamento, de exigências por mão-de-obra qualificada, e capacidade tecnológica para agregação de valor adicionado aos produtos. Contrapondo-se aos países que apresentam rendas relativamente elevadas em decorrência da abundância de produtos que geologicamente oferecem vantagens comparativas, porém, por constituírem menor complexidade econômica, apresentam uma distribuição de renda mais desigual.

O índice de complexidade econômica de Hausmann *et al.* (2011; 2013) fornece dados importantes, contudo, limita-se às análises de dados de exportação. Na Seção 3, portanto, apresentamos conceitos teóricos da matriz insumo-produto e da estrutura de redes.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho, por meio de pesquisa descritiva, foram exploradas as características das estruturas de rede da matriz insumo-produto, com base na hipótese e os diferentes pesos econômicos estarem relacionados ao nível de complexidade dos países pesquisados.

O método da pesquisa é o indutivo. Conforme Gil (2002, p. 34) descreve, “o método indutivo procede inversamente ao dedutivo: parte do particular e coloca a generalização como um produto posterior do trabalho de coleta de dados particulares”. Desta forma, a partir de observações empíricas consistentes e de análises comparativas, pode-se chegar à generalização que segue a lógica do raciocínio indutivo por meio dos fatos e fenômenos concretos para análise das causas destes que ainda não são conhecidas, ou pouco estudadas.

As evidências empíricas sobre as interações entre setores produtivos, pelos insumos e bens intermediários agregadores de valor ao produto final, tornaram-se o ponto de partida para a análise das relações setoriais numa estrutura de redes dentro da matriz insumo-produto, apresentando dados comparativos sobre as redes complexas da economia e seus níveis de maior ou menor conectividade.

Com relação às técnicas de pesquisa, num primeiro momento realizou-se uma pesquisa bibliográfica nas áreas de crescimento econômico, matriz insumo-produto e análise de redes. Neste caso, a pesquisa bibliográfica teve como objetivo fundamentar a análise descritiva embasada a partir da teoria do crescimento e de conceitos de redes complexas.

O tipo de fonte de dados é secundário, ou seja, segundo Maia Neto e Berni (2002), foram obtidas por meio de terceiros que os disponibilizam para fins diversos. Desta forma, devido às características de série histórica, tem-se como objetivo a verificação dos dados secundários previamente registrados no intuito de absorver quantidade relativamente alta de informações e, conseqüentemente, por meio de apropriada manipulação desses dados, extrair os resultados finais da pesquisa de forma consistente e confiável.

Neste contexto, em seguida, foram realizados levantamentos de dados secundários no *World Input-Output Database* (WIOD) do ano 2000 e 2014 de 43 países e do Resto do Mundo para análise e interpretação.

A partir dessa coleta de dados, construiu-se a matriz inversa de Leontief para cada ano indicado acima e, na sequência, os elementos desta matriz foram inseridos no *software* Gephi 0.9.2 para a visualização e análises estatísticas por meio de grafos desenvolvidos, respectivamente, para cada país, em que os setores representam os vértices, e as relações de

compra e venda de insumos entre estes são as arestas. Assim, identificamos quais os níveis das relações setoriais dentro da matriz insumo-produto em forma de redes.

Com o tema e o problema desenvolvidos, conforme Lakatos e Marconi (2005, p. 126-132), a enunciação destes com a finalidade de encontrar soluções ao problema posto por meio dos processos de pesquisa científicos, levantaram a hipótese de que uma determinada relação entre as variáveis explicativas dos fatos e fenômenos socioeconômicos observados. As hipóteses pressupõem certas relações entre duas ou mais variáveis, que sejam mensuráveis e passíveis de serem testadas, observando a existência dos fatos correlacionados que comprovem ou não a existência dessa relação.

No intuito de observar a relação das propriedades de rede com a matriz insumo-produto, as características das ligações que ocorrem entre vendedores e compradores setoriais nas cadeias de produção de um sistema econômico em redes complexas influenciam os direcionamentos em investimentos, o grau de exigência de qualificação profissional e conhecimento acumulado, o desenvolvimento de capacidades tecnológicas, como também o crescimento e melhor distribuição da renda de um país.

Os resultados foram interpretados com o propósito de verificar quais as características das estruturas de redes complexas com os setores inter-relacionados, de maior ou menos peso econômico, como também uma comparação das estruturas de redes ponderadas pelos coeficientes técnicos do Brasil e dos Estados Unidos, inseridos na matriz insumo-produto mundial.

Da Seção 3.1 até a Seção 3.5, apresentamos os fundamentos teóricos embasados na teoria do insumo-produto, assim como os encadeamentos intersetoriais restritos às relações de compra e venda de insumos para a produção de bens finais, bem como os conceitos de redes complexas, suas propriedades e algumas áreas de aplicação desses conceitos. Além disso, trazemos a junção das duas teorias – redes complexas e matriz insumo-produto – no intuito de revelar os setores com elevado grau de interações com vários outros na rede, tal qual a relevância econômica nas ligações a montante e a jusante.

3.1 Referencial teórico

A base para a teoria da matriz insumo-produto evoluiu ao longo de várias décadas por meio de diferentes autores de grande importância para a teoria econômica. Esses autores revelaram as interações e formas de alocação de recursos como mão-de-obra, capital e terra conectados entre si e, conseqüentemente, resultando em aumento da renda e enriquecimento

das nações. Assim, toda a base para a teoria da matriz insumo-produto está ligada aos desenvolvimentos anteriores, com o objetivo de entender o funcionamento das relações entre os fatores de produção em cada época.

3.2 As interações setoriais diretas e indiretas

O funcionamento da economia fundamenta-se, basicamente, na dinâmica entre oferta e demanda de uma economia. Segundo Guilhoto (2011), este dinamismo se irradia dentro de uma ampla rede produtiva que, pelos diferentes graus de dependência, os vários setores compram e vendem entre si.

Para visualizar as relações setoriais, conforme destacado por Guilhoto (2011, p. 11), “esse sistema de interdependência é formalmente demonstrado em uma tabela conhecida como tabela de insumo-produto”, ou seja, a tabela de insumo-produto possibilita observar isso em determinado ponto do tempo.

Setores específicos, individualmente, segundo Guilhoto (2011), têm uma quantidade relativamente pequena de relações de compra e venda de produtores e seus fornecedores intermediários diretos. Contudo, existem importantes ligações indiretas resultantes da natureza de dependência entre estes.

Segundo Miller e Blair (2009), as compras e vendas refletem os bens físicos, ao contabilizar as transações intersetoriais, têm-se os registros tanto físicos quanto monetários dos bens produzidos. Entretanto, ao contrário dos dados das quantidades físicas, existe o problema de medição em termos monetários sobre quanto realmente cada setor vende. Isto em decorrência de produtos com a mesma finalidade – por exemplo, marcas diferentes de carros – com preços distintos. Ou seja, a variação dos preços relativos interfere na estimativa feita por meio destes dados.

Os bens são caracterizados, genericamente, por finalidades distintas como de bens primários, bens intermediários e bens finais. Entre estes, existe uma grande variedade de características específicas; que vão desde produtos primários como minério de ferro até bens de capital de elevado conteúdo tecnológico; porém, mesmo que setores não comprem e vendam diretamente entre si, há uma relação indireta que, mesmo sendo este um produto primário, determinados bens de capital compram indiretamente do setor extrativista, por exemplo, minério de ferro. E estes estariam interligados por meio de outros setores, como a siderurgia.

A remuneração dos fatores trabalho, capital e terra, conforme indicado por Guilhoto (2011), geram a renda utilizada na economia para consumo das famílias e para o investimento; por outro lado, tem-se o consumo dos governos pelos impostos arrecadados. Essa demanda gerada induz os setores a aumentarem ou diminuïrem suas produções e, devido às interações produtivas, criam uma reação multiplicadora de demanda com forte impacto na cadeia produtiva.

Segundo Guilhoto (2011), existem dois tipos de multiplicadores:

Mas este efeito multiplicativo (multiplicadores do tipo I) não se restringe apenas à demanda por insumos intermediários. Do lado da demanda por insumos primários o processo também se repete, só que de uma forma um pouco diferente, isto é, um aumento na demanda por mão-de-obra fará com que haja um aumento no poder aquisitivo das famílias, gerando, desta forma, uma elevação na demanda por produtos finais [...]. Este aumento do emprego causado devido ao aumento na demanda do consumo das famílias é chamado de efeito induzido (multiplicadores do tipo II) (GUILHOTO, J.J.M., 2011, p. 14).

O aumento na demanda de um dado produto de consumo final também aumenta a demanda pelos insumos primários, bens intermediários, entre outros; sendo esta resultante do multiplicador tipo I, necessários na fabricação desse dado bem. Por outro lado, seus fornecedores, conseqüentemente, elevam suas demandas produtivas que se espraiam para outros setores fornecedores que não estão diretamente ligados ao primeiro setor – produtor do bem final.

No caso do multiplicador tipo II, ocorre aumento na demanda por mão-de-obra e esta, por sua vez, eleva o poder aquisitivo das famílias, que induz, em um novo ciclo, os setores produtores a aumentarem suas atividades de oferta e que, conseqüentemente, elevam não somente bens intermediários, mas também a demanda por diversos tipos de insumos e, com isso, o ciclo se repete até atingir o equilíbrio.

As relações fundamentais que incorporam a tabela insumo-produto estão expressas na Figura 6, entre setores compradores e vendedores, agregando os insumos intermediários que geram determinado nível de produção em função da demanda final. Entretanto, Guilhoto (2011) apresentou também os impostos indiretos líquidos, as importações como bens intermediários e o valor adicionado agregado durante todo o processo produtivo. Neste trabalho, a análise se restringe às relações dos setores com os insumos intermediários em função da demanda final.

A partir dessa relação, conforme indicada por Guilhoto (2011), a matriz insumo-produto incorpora as identidades macroeconômicas na variável-vetor demanda final, a qual

agrega o consumo das famílias, o consumo do governo, o investimento e as exportações líquidas. Dentre os fluxos intermediários de compra e venda dos setores, o coeficiente técnico que assume valores entre zero e um revela a quantidade de insumos necessária por unidade de produto final.

Figura 6 - Visualização das principais relações na tabela insumo-produto

	Setores Compradores		
Set. Vend	Insumos Intermediários	Dem. Final	Prod Total
	Impostos Indiretos Líquidos (IIL)	IIL	
	Importações (M)	M	
	Valor Adicionado		
	Produção Total		

Fonte: *Input-Output Analysis: Theory and Foundations* (GUILHOTO, J.J.M., 2011, p. 12).

Conforme destacado por Miller e Blair (2009), os fluxos das relações intersetoriais podem ser gravadas em uma tabela. Esta deve registrar os setores que produzem no lado esquerdo da tabela e, ainda listando estes mesmos setores, elencar suas compras no topo. Do ponto de vista das colunas da tabela, devem-se mostrar os insumos de cada setor; na sequência, do ponto de vista das linhas desta, deve-se registrar a quantidade produzida por cada setor. Assim, tem-se a tabela insumo-produto, em que estes valores registrados em colunas e linhas caracterizam o núcleo de análise.

Cada um dos setores, dentro da matriz insumo-produto, apresenta sua demanda final e a produção total, assim como as proporções de insumos utilizados, específicas de cada um. A Tabela 1 ilustra as variáveis utilizadas para o cálculo da matriz insumo-produto.

Um dado setor, em resposta à variação positiva da demanda final, aumenta sua produção que, conseqüentemente, necessita de mais insumos. Os setores fornecedores de insumos também aumentam suas demandas para produzirem mais insumos, resultando em alterações incrementais sucessivas dentro da cadeia de produção.

Tabela 1 - Elementos da tabela insumo-produto

	SETOR 1	SETOR 2	DEMANDA FINAL (y_i)	PRODUÇÃO TOTAL (x_i)
SETOR 1	a_{11}	a_{12}	y_1	x_1
SETOR 2	a_{21}	a_{22}	y_2	x_2
TOTAL (x_i)	x_1	x_2		

Fonte: Elaboração própria.

O coeficiente técnico é a razão que revela quanto de insumos de um dado setor é necessário para a produção de uma unidade do bem final. Por exemplo, quanto que o setor de aeronaves compra do setor de alumínio para suprir sua produção total, e quanto que o primeiro demandaria de insumos do segundo se a demanda por aeronaves aumentasse, por exemplo, quatro vezes a produção do período anterior (MILLER, R. E.; BLAIR, P. D., 2009, p. 15-16).

Na equação (3), onde o elemento α_{ij} é o coeficiente técnico; o vetor coluna, x_j , engloba as respectivas produções de cada setor; e a demanda final, y_i agrega o consumo das famílias, gastos do governo, investimentos e exportações:

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_j + y_i = x_i. \quad (3)$$

A equação (3), onde $i = 1, 2, \dots, n$, pode-se transformar para o formato matricial:

$$Ax + y = x, \quad (4)$$

onde a matriz A é de ordem $(n \times n)$ e os respectivos vetores coluna, x e y , da equação (4) são de ordem $(n \times 1)$; esta é a definição de valor bruto da produção. Assim, segundo Guilhoto (2011), por meio da equação (5), em função de uma dada demanda final é possível encontrar a oferta de produto relacionada com esta demanda:

$$x = (I - A)^{-1}y, \quad (5)$$

onde o elemento $(I - A)^{-1}$ é a matriz de coeficientes, também denominada de matriz de Leontief. No caso desta matriz, seus coeficientes caracterizam-se tanto direta quanto indiretamente na relação insumo-produto.

A matriz de Leontief mostra a interdependência entre setores que vendem e compram insumos intermediário e primário, com maior ou menor grau de dependência, em que a demanda sinaliza aumento ou diminuição da produção, gerando impactos que se irradiam entre os setores ligados direta ou indiretamente na cadeia de produção. Assim, descobrem-se quais efeitos em cadeia podem ser gerados na produção total em relação a um aumento na demanda final.

Esse sistema pode ser descrito por meio de um exemplo. Na interação entre três setores, a agricultura compra pouco da siderurgia, pois se restringe às compras e vendas de equipamento do setor de máquinas agrícolas. Por outro lado, o setor produtor de máquinas agrícolas compra insumos da siderurgia para a fabricação de seus equipamentos; a relação destes é direta, entretanto caracteriza-se uma relação indireta entre o setor agrícola e o setor siderúrgico intermediado pelo setor de máquinas agrícolas (GUILHOTO, J.J.M., 2011, p. 13).

Ainda dentro das interações setoriais, por exemplo, o aumento na demanda por automóveis induza um aumento na produção do setor de automobilístico que demandará por mais insumos do setor de aço para atender essa demanda final, ou seja, quanto maior a quantidade, por exemplo, de carros produzidos em função do aumento da demanda final, mais insumos do setor de aço serão necessários para suprir a fabricação desses carros em dado período de tempo (MILLER, R. E.; BLAIR, P. D., 2009, p. 15).

Em meio aos processos de interações setoriais que se tornarem cada vez mais complexos, na próxima seção, descrevemos os fundamentos da teoria de redes complexas.

3.3 Conceitos gerais da teoria de redes complexas, suas propriedades e aplicabilidades

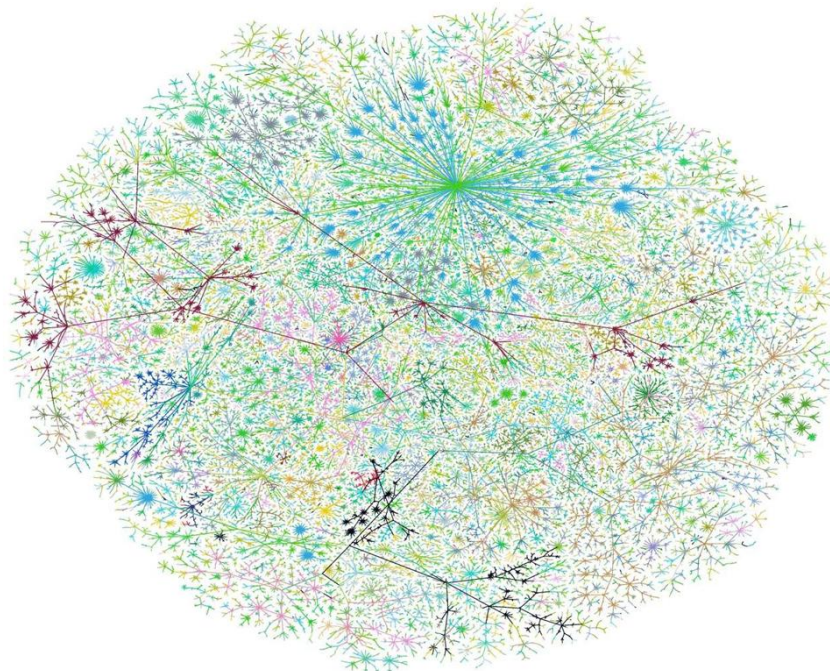
Para analisar e estimar essas interações, as quais não seguem um padrão regular, o conceito de redes complexas é o fundamento técnico para os objetivos do trabalho.

Um exemplo dessa evolução (Figura 7) está nas interações físicas dos computadores conectados na rede, conforme ilustrado por Newman (2003), em grupos locais que mostram a enorme quantidade de máquinas representadas por vértices e suas ligações pelas arestas, neste caso, as fibras óticas e seus complementos.

Segundo Metz *et al.* (2007), redes são estruturas montadas por vértices e arestas. Os vértices são os nós que recebem e enviam conexões entre si; as arestas são os arcos que

transmitem essas relações entre dois vértices do ponto A (origem) ao ponto B (destino) e, também, as arestas podem apresentar pesos variados, ou seja, as relações dessas ligações são ponderadas, por exemplo, pelas diferentes distâncias, por níveis de parentesco, por diferenças de custos financeiros e econômicos, entre outros. Para isso, ao se observar as interações de adjacência entre pares de vértices, atribuem-se intensidades distintas para cada aresta, dependendo do tipo de rede a ser analisada. Assim, para representação dos pesos, utiliza-se uma matriz de adjacência $W(i, j)$ de $N \times N$ vértices típicos dispostos em pares em que a aresta direcionada de i até j acrescenta seus distintos pesos por meio das ligações de dois nós vizinhos em uma rede complexa.

Figura 7- A estrutura de rede da *Internet* por grupos de computadores que se conectam



Fonte: *The structure and function of complex networks* (Newman, 2003).

A estrutura de redes que agrega um conjunto de vértices (nós) e arestas (arcos) forma sua topologia em forma de grafos, que podem ser direcionados ou não, utilizados para análise de determinados problemas em que as variáveis determinantes se relacionam de forma complexa e irregular.⁷ Desta forma, como indicado por Metz *et al.* (2007), cada aresta segue uma determinada direção que liga dois vértices de A até B. Neste caso, os grafos direcionados (dígrafos) podem ser cíclicos, quando o caminho percorrido acaba no próprio ponto de origem; ou acíclico, sem retornar ao ponto de origem.

⁷ Topologia é a representação das configurações de uma estrutura de redes e os grafos fornecem a visualização da estrutura topológica das redes.

3.3.1 Redes aleatórias, redes small world e redes livres de escala

Com base no trabalho de Metz *et al.* (2007), um dos principais modelos estudados de redes complexas, em redes aleatórias, arestas não direcionadas são inseridas no modelo aleatoriamente, dada uma quantidade fixa de vértices. Devido a isso, cada grau dos vértices e suas correspondentes arestas de probabilidades independentes se conectam aos nós aleatoriamente até que o número de arestas se iguale ao total de arcos que recaem em um dado vértice e, desta forma, os vértices se agregam aleatoriamente.

Conforme destacado por Metz *et al.* (2007), quando a quantidade de conexões estabelecidas por vértices muito próximos entre si, imersos em uma rede muito grande e sua distância média não ultrapassa um número pequeno de vértices, tem-se uma estrutura denominada rede pequeno mundo. Assim, o caminho mínimo de dois vértices conectados, denominado caminho geodésico ou distância geodésica, denota o menor número de arcos que liga o ponto A (vértice origem) ao ponto B (vértice destino).⁸ Contudo, devido a um conjunto menor de vértices conectados entre si, apresentam conexões com outros agrupamentos menores de vértices dentro de uma rede relativamente muito maior. Assim, para evitar equívocos nos valores dos caminhos médios geodésicos, consideram-se apenas os pares de vértices intimamente conectados.

Vários tipos de redes utilizadas para análise de elementos reais, tanto dos indivíduos quanto dos grupos sociais, são apresentados por Newman (2003), onde uma rede social engloba um grupo de pessoas que interagem por meio de certos padrões, sejam pelas relações de amizade ou profissionais, de comportamentos ou culturais, entre outras relações do cotidiano social. O exemplo de “mundo pequeno”, dado por Newman (2003), é o seguinte:

Os experimentos sondaram a distribuição dos comprimentos dos caminhos em uma rede de conhecidos pedindo aos participantes que passassem uma carta a um de seus conhecidos pelo primeiro nome em uma tentativa de obtê-la para um determinado indivíduo designado. A maioria das cartas no experimento foi perdida, mas cerca de um quarto alcançou o alvo e passou, em média, pelas mãos de apenas seis pessoas ao fazê-lo (NEWMAN, M. E. J., 2003, p. 175).

A partir desse experimento, no qual as cartas destinadas a um indivíduo-alvo passavam pelas mãos de pessoas que repassavam aos seus respectivos conhecidos identificados pelo primeiro nome e, ao final do experimento, parte das cartas que alcançaram

⁸ (Geodésico: que realiza medições, representações e análises do espaço geográfico das redes complexas).

a meta revelaram, em média, seis passos do ponto inicial ao ponto final, caracterizou-se o conceito de seis graus de separação.

Em redes livres de escala, observa-se a tendência de um novo vértice, introduzido na rede, se conectar a outro vértice já existente, com alto grau de conexões. Desta forma, segundo Metz *et al.* (2007), essa rede apresenta, por um lado, uma quantidade menor de vértices altamente conectados, mas, por outro lado, também se revelam grandes quantidades de vértices com baixa conectividade.

As redes de citações acadêmicas, segundo Newman (2003), denotam um importante exemplo de redes de informação em que trabalhos acadêmicos citam artigos anteriores no qual os vértices são os artigos e as arestas de um grafo acíclico direcionado do ponto A (origem) ao ponto B (destino) mostram que o trabalho A cita o artigo B e que, nesta rede de citações, segue-se uma lei de potência.⁹ Outro exemplo é a rede de informação *World Wide Web*, no qual páginas da *Web* são conectadas entre si por *hyperlinks* de uma página a outra. Devido a isso, estas páginas da *Web*, geralmente, conectam-se em ciclos.

Nas grandes redes são observadas, segundo Barabási e René (1999), as conexões dos vértices na forma de leis de potência devido às expansões contínuas pela inclusão de novos vértices que seguem a preferência de se conectarem aos locais da rede densamente conectados, geridos pela auto-organização no processo de expansão. Ao contrário de outros modelos que não incorporam essa expansão e a preferência dos novos vértices por locais altamente conectados, o que se denota em redes reais é um dimensionamento característico de leis de potência. Devido a isso, uma particularidade comum revela que as conexões locais, em redes aleatórias grandes, são livres de escala, pois, conforme indicado por Barabási e René (1999, p. 511), estas singularidades, na realidade observada, expõem o fenômeno denominado “*rich-get-richer*”, em que há uma concentração de poucos vértices altamente conectados.

Em outra categoria, para Newman (2003), as redes tecnológicas são projetadas com a finalidade específica de distribuir determinadas mercadorias ou recursos, por exemplo, transmissão de eletricidade ou de informações. Porém, esta transmissão se propaga por meios físicos como rotas aéreas, estradas de ferro, redes fluviais, linhas telefônicas, as conexões físicas pelos computadores, todos estes apresentando relações de seus respectivos vértices e arestas.

As análises de vários sistemas biológicos são representadas por redes. Newman (2003) destaca o exemplo de cadeias alimentares, no qual as relações se revelam pelos vértices que

⁹ Neste contexto, a lei de potência é revelada pela quantidade de autores desenvolvedores de k artigos que cai em $k^{-\alpha}$ para qualquer α constante. Essa lei se aplica em outras tantas distribuições de redes reais.

representam espécies de um ecossistema, e uma aresta direcionada da espécie A para a espécie B indica que a espécie A ataca e se alimenta da espécie B. Outros exemplos característicos da interação entre vértices e arestas dessa rede são apresentados em redes biológicas de vias metabólicas onde uma reação, caracterizada como vértices, que atua sobre um dado substrato, como uma aresta direcionada, resulta em um determinado produto característico dessa relação.

Devido a determinados problemas específicos, as propriedades de redes complexas são fundamentais para resolução das questões em análise.

3.3.2 Coeficiente de aglomeração, distribuição de graus

Os coeficientes de aglomeração, Segundo Metz *et al.* (2007), quantificam os agrupamentos que ocorrem por meio da transitividade que revela a existência de um número elevado de conexões triangulares, onde a chance de o vértice A estar conectado ao vértice C, por transitividade na conexão sequencial entre os pontos A, B e C, seja tão maior quanto maior for o nível de agrupamento revelado.

A incidência de arestas sobre um dado vértice, conforme indicado por Metz *et al.* (2007), denota o grau de conectividade deste vértice. Para determinar a probabilidade de um vértice apresentar grau fixo, estima-se, assim, por meio de uma função de distribuição probabilística caracterizada como uma distribuição de Poisson em redes aleatórias e, em redes reais, para uma distribuição de lei de potência.

Com os fundamentos anteriormente descritos da teoria de redes complexas, na próxima Seção, formalizamos a junção dos conceitos teóricos da matriz insumo-produto com os conceitos de redes complexas.

3.4 A matriz insumo-produto e a estrutura de redes complexas

Primeiro, o conjunto finito S de todos os setores que constituem a economia fixa o conjunto de vértices $V = \{v_i, \dots, v_S\}$ em certo período de tempo. Seja A um subconjunto desta coleção dado, por sua vez, pelos pares ordenados de vértices $\{v_i, v_j\}$, com $v_i, v_j \in V$. Isto é, as arestas são definidas como:

$$\{ \{v_i, v_j\} \in V^2 : \{v_i, v_j\} \in A, \text{ se o setor } i \text{ oferta para o setor } j \} \quad (6)$$

Nesse sentido, uma aresta é uma ligação adjacente entre os elementos do conjunto de setores da economia, em que se permite a oferta intrasetorial (um setor oferta um insumo para si mesmo, dado pela diagonal principal da matriz de insumo produto). Seguindo Acemoglu *et al.* (2012) e Carvalho (2010), definido o conjunto V de setores e sua relação de oferta representada pelas arestas A , definem-se as ligações intersetoriais como um gráfico dirigido G :

Definição 1: $G = (V, A)$. G é um grafo de ligações intersetoriais diretas com um conjunto de nós V e um conjunto de arestas A , em que cada elemento de A é uma aresta dirigida do setor i para o j .

Este conjunto de grafos será representado por uma matriz adjacente que indica como e quais vértices serão ligados entre si. A matriz adjacente é formada pela inversa de Leontief derivada a partir da matriz-insumo produto (MIP) que, por sua vez, é obtida empiricamente por meio da matriz de recursos e usos setor por setor. A metodologia utilizada para estimação da MIP foi a de Guilhoto e Sesso Filho (2010) e (2005), que estimaram as relações intersetoriais da economia brasileira a partir das contas nacionais.

Para a derivação da teoria básica de insumo produto, seguimos Miller e Blair (2009). Assim, considere a seguinte identidade contábil básica de um sistema econômico:

$$\sum_{j=1}^s z_{ij} + c_i + g_i + I_i + e_i \equiv x_i \quad (7)$$

Em (7), z_{ij} é a produção do setor i utilizada como insumo intermediário pelo setor j ; c_i é a produção do setor i que é utilizada para o consumo das famílias; g_i por sua vez é a produção do setor i que é absorvida na forma de consumo do governo; I_i é a produção do setor i que é destinada ao investimento; e_i a produção do setor i destinada à exportação. Por fim, x_i é definido como a produção doméstica total do setor i . Essa identidade diz que o valor bruto da produção nacional é a soma dos insumos intermediários mais os componentes da demanda final destinado ao consumo, investimento, gastos do governo e exportações.

Ao se supor que os fluxos de insumos intermediários por unidade de produto final são fixos em determinada unidade de tempo (a tecnologia de produção não varia), pode-se derivar o sistema de Leontief como:

$$\sum_{j=1}^S d_{ij}x_j + y_i = x_i \quad (8)$$

Em (8), d_{ij} é o coeficiente técnico, que indica a quantidade de insumo do setor i necessária para a produção de uma unidade de produto final do setor j , $d_{ij} = z_{ij}/x_j$; e y_i são os componentes da demanda final anteriormente citados: consumo das famílias, do governo, investimento e exportações. Ao se escrever (8) em sua forma matricial tem-se:

$$DX + Y = X, \quad (9)$$

onde D é a matriz de coeficientes diretos de insumo de ordem $(S \times S)$; X e Y são vetores coluna de ordem $(S \times 1)$. Em sua forma completa:

$$(I - D)X = Y \quad (10)$$

Em (10) I é a matriz identidade. Note que o sistema tem solução única somente se $I - D$ for singular e, portanto, $(I - D)^{-1}$ existir. Nesse caso, a solução única será dada por:

$$X = (I - D)^{-1}Y \quad (11)$$

A partir desta expressão é possível se obter a produção total que é necessária para satisfazer a demanda final. Em (11), $B = (I - D)^{-1}$ é a matriz de coeficientes diretos e indiretos, também conhecida como matriz de Leontief. Em B , o elemento b_{ij} é interpretado como sendo a produção total do setor i que é necessária para produzir uma unidade de demanda final do setor j . Em técnicas tradicionais de insumo-produto a matriz de Leontief é a peça fundamental para se explorar implicações econômicas relevantes, tais como: os setores-chave, análise de impacto, distribuição do valor adicionado, emissões de dióxido de carbono, entre outras.

Neste artigo, segue-se esta tradição ao utilizar a matriz de Leontief como matriz adjacente e, portanto, estrutura para análise de redes. Define-se a matriz adjacente como:

Definição 2: Para um grafo direto intersetorial $G = (V, A)$ define-se a matriz adjacente $B(G)$ como sendo uma matriz $S \times S$. Se G é um grafo dirigido define-se b_{ij} como os

elementos ponderados da matriz $B(G)$, sendo definidos como a produção do setor i que é necessária para a produção de uma unidade de demanda final no setor j .

As Definições 1 e 2 fornecem a arquitetura geral da rede de insumo produto que será modelada, adaptando a teoria dos modelos de insumo produto a notação de grafos. A seguir, exploram-se as formas de operacionalização do estudo da rede de insumo produto para os países analisados.

3.5 Agrupamentos dos dados da matriz insumo-produto e as relações de compra e venda

A partir da tabela de insumo-produto gerada com os dados do *World Input-Output Database (WIOD)*, criou-se a matriz insumo-produto mundial composta pelos seus coeficientes técnicos. Inicialmente, procurou-se desenvolver a rede global com todos os países e os setores conectados em uma única estrutura. Contudo, os equipamentos computacionais disponíveis eram incapazes de arcar com o custo de processamento da construção da arquitetura desta rede mundial. Como a pesquisa não dispõe de recursos para o uso de servidores compatíveis, optou-se por outra forma de operacionalização.

Criaram-se redes individuais para cada um dos 43 países e o Resto do Mundo, com as informações características de cada uma das estruturas montadas e para cada período analisado, em 2000 e 2014. Com isso, as conexões intersetoriais de cada rede foram ponderadas pelos coeficientes técnicos da matriz insumo-produto, em que os vértices representam os setores e as arestas retratam as ligações entre estes setores nos grafos reproduzidos pelo *software* Gephi.

Mesmo frente a esta nova estratégia de operacionalização, o tempo médio para o processamento computacional dos grafos e suas métricas foi de aproximadamente trinta minutos para cada rede de cada país e o Resto do Mundo. As relações intersetoriais computaram em média 2500 vértices e 250.000 arestas para cada um dos grafos construídos.

A partir das métricas geradas pelo *software*, obtivemos os graus médios ponderados, assim como os graus ponderados de entrada e saída das redes analisadas. Na sequência, classificamos os 10 setores de maior grau ponderado pelos coeficientes matriciais representados pelos compradores – graus de entrada – e pelos vendedores – graus de saída, de cada país.

Os graus ponderados de um dado grafo correspondem aos pesos que lhes foram atribuídos, ou seja, a aresta que liga o vértice A ao vértice B pondera essa conexão por um

valor estimado. Segundo Metz *et al.* (2007, p. 9), num exemplo de aplicação de redes complexas para modelagem de textos, cada aresta incorpora um valor numérico, que indica o peso associado à qualidade da estrutura textual formada pelas conexões das palavras.

Esses graus ponderados têm interpretações análogas ao do índice de Hirschman-Rasmussen, com a diferença de que se pondera pelo número de ligações do setor na rede. Evidencia-se se a produção está concentrada em insumos, ou se esta aumenta mediante o valor adicionado da economia (GUILHOTO, J. J. M., 2011, p. 43).

Com essas informações, buscamos quantificar os níveis de frequência de um dado setor de um dado país em relação a outros setores dentro das 44 redes construídas para o ano 2000 e para o ano de 2014. Assim, criamos dois novos agrupamentos de dados divididos, de um lado, por todos os setores ponderados pelos graus de entrada (compradores) e, por outro lado, todos os setores ponderados pelos graus de saída (vendedores).

Para cada setor de um dado país presente em uma dada rede, computou-se o valor de frequência 1, para o setor não inserido em uma determinada rede registrou-se o valor de frequência zero. Ao final, somamos o total de frequência para cada um dos 56 setores de seus respectivos países de origem, em ordem decrescente de classificação.

Com isso, selecionamos os 10 setores de maior frequência identificados como *hubs*, isto é, os poucos setores altamente conectados nas redes globais de compradores e vendedores de insumo-produto.

Próximo passo, baseando-se nos 10 primeiros colocados, os *hubs* identificados, coletamos, na matriz insumo-produto, estes setores e suas cinco principais conexões pertencentes às suas respectivas redes. Posteriormente, criamos quatro novos subgrafos denominados de mini rede, partes menores da rede global, contendo esses *hubs* e seus parceiros comerciais vizinhos.

Em seguida, para a comparação entre as redes do Brasil e dos Estados Unidos, utilizamos, inicialmente, os grafos desses países, anteriormente construídos. Computamos as métricas de graus ponderados de entrada e saída referentes aos anos 2000 e 2014.

Para análise da distribuição dos valores dos coeficientes matriciais em 2000 e 2014, organizamos esses valores do maior para o menor nível para a visualização de seu formato de distribuição nas redes do Brasil e dos Estados Unidos.

No Capítulo 4, apresentamos os resultados desses dados compilados em relação às propriedades de setores caracterizados como *hubs* e os pesos econômicos dos elos na cadeia de produção, assim como a comparação das estruturas de redes do Brasil e dos Estados Unidos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Seções 4.1 e 4.2, apresentamos os resultados da aplicação das teorias de redes com a matriz insumo-produto mundial. Na Seção 4.3, comparamos as estruturas de redes do Brasil e dos Estados Unidos. Assim, por simplificação, as descrições completas e acrônimos dos 56 setores e dos 43 países e o Resto do Mundo encontram-se nos APÊNDICE A e B.

4.1 Os 10 maiores setores em nível de frequência nas redes globais de compradores e vendedores de insumo-produto de 2000 e 2014

A classificação dos 10 maiores níveis de frequência de 2000 e 2014 na Tabela 2 denotam os setores do Resto do Mundo como altamente conectados, denominados *hubs* poucos setores que concentram os maiores níveis de conexões na rede. Já a Alemanha destacou-se na rede global com seus setores de maior frequência, depois do Resto do Mundo.

Tabela 2 - Frequência e classificação dos 10 maiores setores na rede global de compradores de insumo-produto (graus de entrada ponderados)

2000		2014		2000		2014	
País	Setor	Cl.*	Fr.*	País	Setor	Cl.*	Fr.*
Resto do Mundo	eletricidade, gás	1	40	Resto do Mundo	mineração	1	40
Resto do Mundo	construção	1	40	Resto do Mundo	eletricidade, gás	1	40
Resto do Mundo	comércio atacadista	2	25	Resto do Mundo	construção	1	40
Alemanha	veículos automotivos	3	23	Resto do Mundo	informática e eletrônicos	2	26
Alemanha	construção	4	17	Resto do Mundo	veículos automotivos	3	24
Resto do Mundo	produtos alimentícios	5	16	Resto do Mundo	metais básicos	4	23
Resto do Mundo	têxtil	5	16	Alemanha	veículos automotivos	5	20
Resto do Mundo	informática e eletrônicos	5	16	Resto do Mundo	produtos alimentícios	6	19
Resto do Mundo	transp. terrestre e por oleodutos	6	15	Resto do Mundo	comércio atacadista	7	17
Alemanha	máquinas e equipamentos	7	13	Resto do Mundo	produtos químicos	8	13
Estados Unidos	defesa e segurança	7	13	Resto do Mundo	transp. terrestre e por oleodutos	8	13
Resto do Mundo	mineração	7	13	China	construção	9	11
Resto do Mundo	metais básicos	8	11	Alemanha	construção	10	10
Resto do Mundo	produtos químicos	9	10	-	-	-	-
Estados Unidos	Informática e eletrônicos	10	8	-	-	-	-
Estados Unidos	construção	10	8	-	-	-	-

Fonte: World Input-Output Database (WIOD).

*Colunas: Classificação e frequência.

O setor produtor de veículos automotivos da Alemanha teve notoriedade em 2000, ocupando a terceira posição na Tabela 2, porém, caiu para a quinta posição em 2014. Esta redução evidencia a perda na quantidade de conexões com outros países e setores. Entretanto, manteve-se como um dos principais *hubs* com importante peso econômico devido às características de grande comprador de insumos no encadeamento de agregação do valor adicionado.

Outro setor da Alemanha, máquinas e equipamentos, não apenas perdeu posições, mas também não apareceu entre os 10 principais *hubs* em 2014, que denotou redução significativa nos pesos econômicos deste setor na rede global.

Entre os dez primeiros, os Estados Unidos, no ano 2000, mostrou-se relevante com os setores da defesa e segurança pública, tal como em outras áreas de fabricação de produtos eletroeletrônicos e de construção. Estes *hubs* demandam grandes quantidades de insumo-produto, ou seja, tem-se uma grande quantidade de elos das ligações para trás nas cadeias em que estes setores compradores se inseriram.

Em comparação com os outros 43 países, os outros países que compõem o Resto do Mundo destacam-se como importantes compradores de insumo, ganhando participação no ano de 2014 em relação a 2000, ou seja, estes *hubs* do Resto do Mundo concentram grande quantidade de ligações com outros setores, com pesos econômicos elevados dentro da cadeia produtiva global.

A construção civil da China, em 2014, registrou-se na nona posição que, neste caso, ganhou importância como compradora de insumo-produto e com relativa concentração de ligações com outros setores na rede global, ultrapassando o mesmo setor da Alemanha.

Ainda que a China tenha registrado níveis elevados de crescimento do produto, principalmente na década de 2000, verificamos em sua rede pesos econômicos importantes em suas relações comerciais com os países asiáticos Taiwan e Coréia e, principalmente, com o Resto do Mundo que, devido a este último incorporar todos os outros países não listados no *World Input-Output Database* (WIOD), as propriedades específicas destas ligações não puderam ser observadas.

Esses setores compradores de insumos, comparativamente em 2000 e 2014, mantiveram frequências relativamente parelhas nesses dois anos. Neste ponto de análise, poucos vértices mostram-se altamente conectados, enquanto muitos outros se conectam de forma mais dispersa na rede. Também se caracterizam os grandes compradores mundiais de áreas como mineração, construção e fabricação de carros; *hubs* concentradores das ligações com os setores circunvizinhos, ramificando-se e criando comunidades na rede.

As frequências obtidas pela rede global de vendedores de insumo-produto, que denotam os graus de saída ponderados, são mostradas. A primeira informação de destaque é que, em 2000, as relações de venda de insumos estiveram menos concentradas em relação a 2014.

Os fabricantes de metais básicos da Irlanda em 2000, na Tabela 3, ocuparam a primeira posição na classificação com nível de frequência 5. Já na segunda posição, temos países distintos, como setores de metais básicos da Austrália, Estônia, Romênia e Eslováquia, na rede global de vendedores de insumo-produto.

Tabela 3 - Frequência e classificação dos 10 maiores setores na rede global de vendedores de insumo-produto (graus de saída ponderados)

2000				2014			
País	Setor	Cl.*	Fr.*	País	Setor	Cl.*	Fr.*
Irlanda	metais básicos	1	5	Chipre	petróleo	1	39
Austrália	metais básicos	2	4	Eslovênia	petróleo	2	20
Estônia	produtos químicos	2	4	Resto do Mundo	publicidade	3	7
Estônia	metais básicos	2	4	Letônia	petróleo	4	6
Estônia	equipamentos elétricos	2	4	Eslováquia	metais básicos	5	4
Indonésia	produtos de madeira	2	4	Austrália	metais básicos	6	3
Indonésia	produtos de papel	2	4	Austrália	mineração	6	3
Letônia	mineração	2	4	Bulgária	metais básicos	6	3
Resto do Mundo	mineração	2	4	Chipre	armazenagem	6	3
Romênia	metais básicos	2	4	Estônia	borracha e plástico	6	3
Eslováquia	metais básicos	2	4	Estônia	saneamento básico	6	3
***		***	***	Croácia	silvicultura	6	3
***		***	***	Indonésia	mineração	6	3
***		***	***	Coréia	petróleo	6	3
***		***	***	Coréia	mineração	6	3
***		***	***	Luxemburgo	silvicultura	6	3
***		***	***	Resto do Mundo	mineração	6	3
***		***	***	Eslováquia	mineração	6	3
***		***	***	***	***	***	***

Fonte: *World Input-Output Database (WIOD)*.

*Colunas: Classificação e frequência.

***A partir deste nível de colocação na classificação, as relações são pulverizadas entre todos os outros setores.

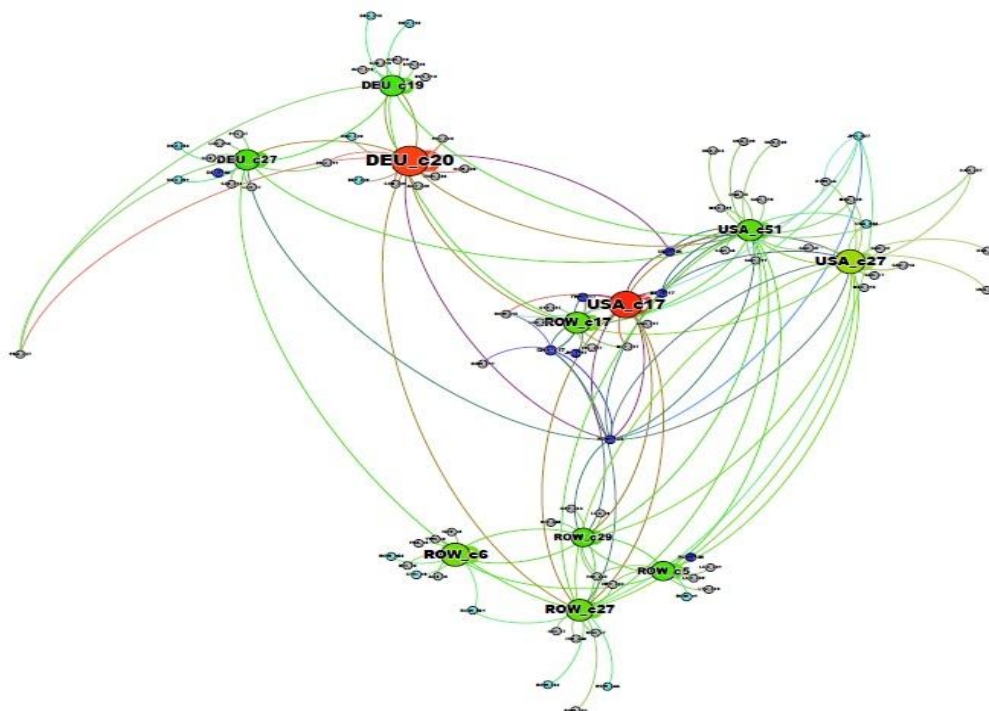
Em 2014, dois *hubs* ofertantes de produtos petrolíferos despontaram na classificação de frequência: Chipre e Eslovênia, ambos os maiores concentradores das ligações para frente na cadeia de produção. Estes dois países ingressaram na União Europeia em 2004, porém Chipre tornou-se membro da zona do euro em 2008, enquanto a Eslovênia já se tornara membro um ano antes, em 2007 (Direção-geral de Comunicação da Comissão Europeia, 2018).

Contudo, a partir da terceira posição na classificação para 2014 na Tabela 3, há uma queda mais acentuada da frequência em relação aos dois primeiros. Mas também se apresentou maior diversificação entre os 43 países e o Resto do Mundo, diferentemente dos dados de 2014 da Tabela 2.

4.2 As mini redes com os 10 principais setores compradores e vendedores de insumo-produto de 2000 e 2014

Coletamos, com base nos 10 primeiros colocados das Tabelas 2 e 3, os principais setores e suas cinco principais conexões da matriz insumo-produto mundial e, com isso, criamos mini redes, partes menores da rede global, com os *hubs* e seus setores vizinhos interligados para os anos 2000 e 2014 (Figuras 8, 9, 10 e 11).

Figura 8 - Mini rede dos 10 principais setores compradores de insumo-produto mundial de 2000 (graus de entrada ponderados)



Fonte: Elaboração própria. *Software* Gephi.

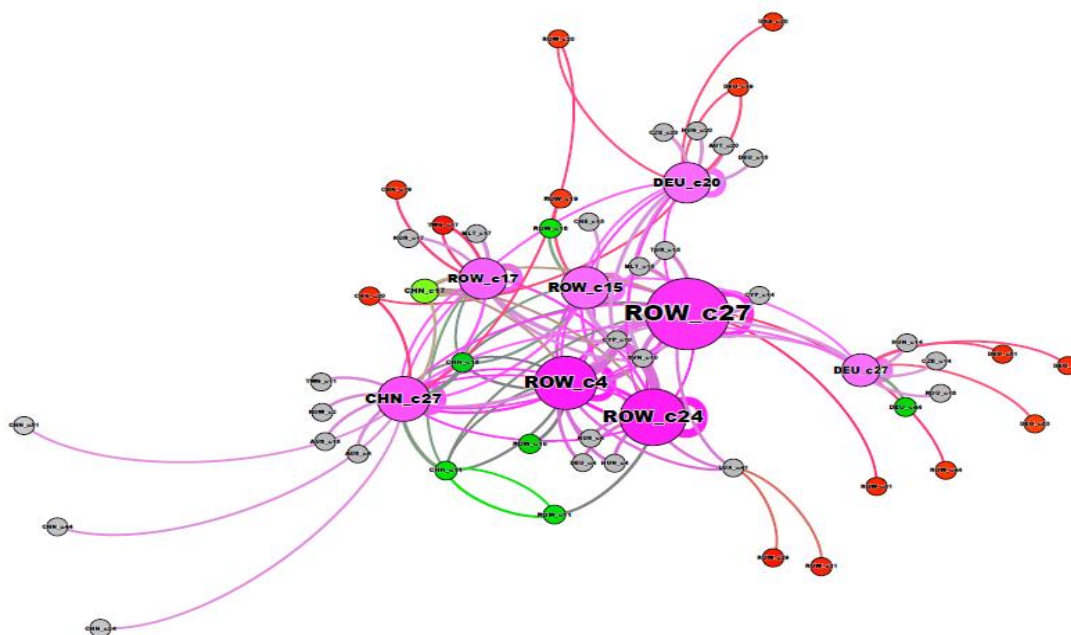
Os setores da Alemanha, Estados Unidos e do Resto do Mundo do ano 2000, na Figura 8, apresentam-se como os principais *hubs* componentes desta mini rede. Esses grandes compradores de insumos estiveram pouco conectados entre si e, também, formaram pequenas comunidades relativamente isoladas umas das outras. Entretanto, o setor fornecedor de eletricidade, gás, vapor e ar condicionado do Resto do Mundo mostrou características

relevantes. Este, por sua vez, manteve-se conectado com vários outros setores, tanto os de maior, quanto os de menor grau ponderado. Porém, os pesos econômicos nas ligações revelaram-se relativamente menores nos encadeamentos produtivos.

Em geral, os *hubs* e seus respectivos países desta rede comercializam com os mesmos setores, porém, de outras nações. Enquanto a Alemanha e o Resto do Mundo (Figura 8) relacionavam-se com diferentes países, Canadá e México, mostraram-se os principais parceiros comerciais dos Estados Unidos.

Na mini rede de graus de entrada ponderados de 2014 (Figura 9), os setores de construção, mineração e fornecimento de eletricidade do Resto do Mundo foram os de maior valor em graus de entrada ponderados, ou seja, os maiores *hubs* compradores de insumos desta rede em 2014.

Figura 9 - Mini rede dos 10 principais setores compradores de insumo-produto mundial de 2014 (graus de entrada ponderados)



Fonte: Elaboração própria. *Software* Gephi.

Em comparação com a mini rede dos compradores do ano 2000, tanto os maiores quanto os menores demandantes de insumos da mini rede em 2014, mostraram-se altamente conectados entre si. O setor de mineração do Resto do Mundo desponta como um dos setores compradores mais conectados na rede global de 2014. O setor têxtil perdeu participação entre os 10 principais *hubs* neste ano. Contudo, o setor de construção da China inseriu-se como o nono maior setor presente nas ligações com vários outros mercados mundiais.

Os vértices vizinhos aos *hubs* (Figura 9) revelaram características de proximidade geográfica. Isto é, os produtores de automóveis da Alemanha, por exemplo, limitaram-se a países da Europa Central, como República Checa, Hungria e Áustria. Já a construção civil da China manteve-se conectada com diferentes setores de Taiwan e da Austrália. A mineração do Resto do Mundo conectou-se com produtores de petróleo refinado de países como Chipre e Eslovênia, porém, do mesmo setor petrolífero. Desta forma, algumas comunidades caracterizaram-se por integrarem setores homogêneos, enquanto outras apresentaram relações intersetoriais mais diversificadas.

Todavia, as comunidades criadas pelos *hubs*, ilustradas na Figura 9, são os setores produtores mais importantes com pesos econômicos elevados em seus elos da cadeia de produção. De forma geral, de um lado, concentram-se poucos setores altamente conectados e, de outro, muitos setores significativamente menos conectados. Portanto, manteve-se, relativamente estável, concentração nas mini redes de 2000 em relação à de 2014, mas os pesos econômicos das relações intersetoriais mostraram-se maiores no ano de 2014 em relação a 2000.

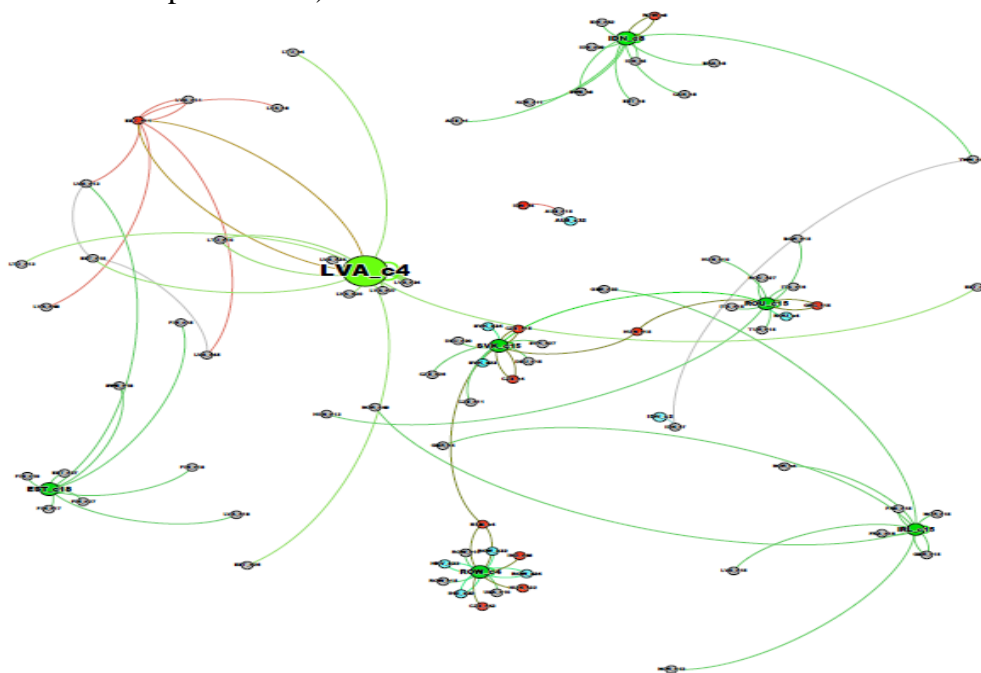
Os graus de saída ponderados da mini rede de 2000 (Figura 10), em sua maioria, foram de menor grau, principalmente se comparados com os outros subgrafos, assim como os níveis de baixa frequência evidenciada na Tabela 3.

O setor de mineração da Letônia em 2000 destacou-se como grande vendedor de minério de ferro como insumo para a construção de máquinas e equipamentos, componentes eletrônicos, e fabricação de automóveis. Porém, os pesos em suas ligações mostraram-se pouco ramificados na rede, ressaltando uma baixa participação nas ligações para frente na agregação de valor adicionado.

A mini rede dos ofertantes de insumos em 2000, foi distribuída na rede em grupos de setores isolados em pequenos *clusters*, comunidades pouco conectadas entre si, com determinados *hubs* e seus pares conectados, porém, de pouco peso econômico nas interações comerciais de insumo-produto.

Os *hubs* produtores de metais básicos da Irlanda, Romênia e Eslováquia, mesmo em comunidades isoladas na mini rede da Figura 10, apresentam proximidades em relação aos seus espaços geográficos. As principais relações da Irlanda são com a França, Noruega e Grã-Bretanha. A Romênia conectou-se com a Itália, Grécia e Turquia. Já a Eslováquia, na maior parte, manteve-se conectada com Alemanha e República Checa. Além de se relacionarem com parceiros comerciais próximos geograficamente, os *hubs* desta mini rede, em geral, compram insumos do mesmo nicho de mercado.

Figura 10 - Mini rede dos 10 principais setores vendedores de insumo-produto mundial de 2000 (graus de saída ponderados)



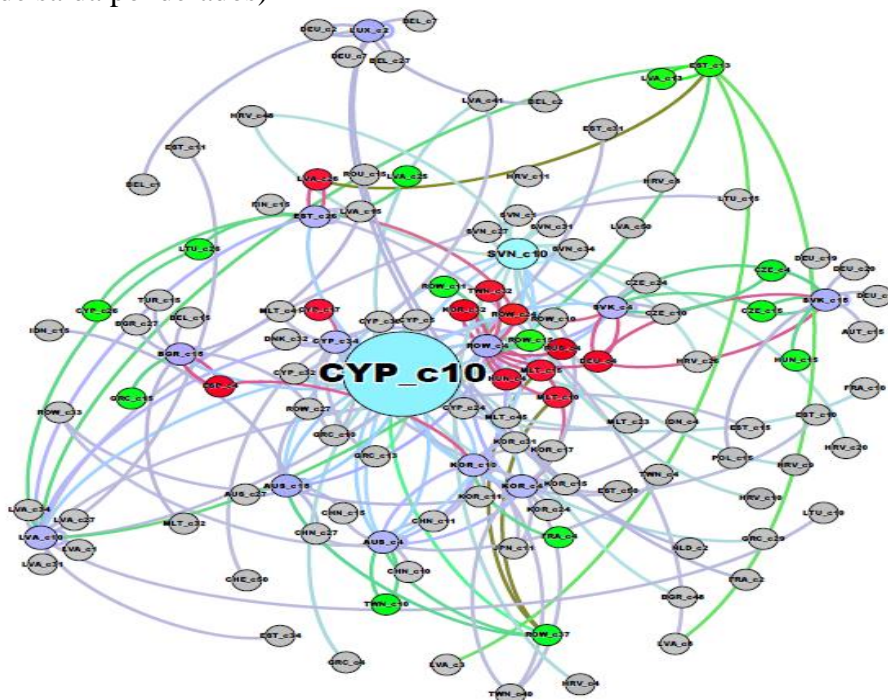
Fonte: Elaboração própria. *Software Gephi.*

Dois países, Chipre e Eslovênia, produtores de petróleo, sobressaem-se na mini rede de vendedores de insumo-produtos em 2014 (Figura 11). Em especial, Chipre mostrou-se como o maior *hub* desta rede, isto é, a importância do setor produtor de petróleo, alinhada aos pesos econômicos nas ligações para frente nos elos da cadeia de produção, revelou-se essencial no processo de agregação de valor a jusante.

Para este *hub* (Chipre), suas relações circunvizinhas tiveram pesos econômicos relevantes nas vendas de seus insumos no encadeamento para outros setores domésticos demandantes desta matéria prima. Devido a isso, os insumos derivados do petróleo ofertados por Chipre revelaram-se indispensáveis no encadeamento produtivo e agregação de valor aos setores demandantes na mini rede de 2014.

Outro importante setor em destaque, a Eslovênia também tem seu *hub* produtor de petróleo, assim como Chipre, com importantes pesos nas ligações para frente com os setores domésticos nas áreas de construção, de produção animal, de transporte terrestre e de oleodutos e de serviços de transporte em geral.

Figura 11 - Mini rede dos 10 principais setores vendedores de insumo-produto mundial de 2014 (graus de saída ponderados)



Fonte: Elaboração própria. *Software Gephi.*

Ao comparar como as interações entre os setores ocorreram em cada uma das mini redes de vendedores de insumo-produtos de 2000 e 2014, num primeiro momento, a rede de vendedores de 2000 mostrou ligações muito dispersas e com poucos *hubs* altamente conectados. Já em 2014, os maiores níveis de conexões concentram-se em apenas dois *hubs* descritos acima. Entretanto, ao contrário da mini rede do ano 2000, os vértices centrais e os vértices vizinhos de menor peso econômico nas ligações, apresentaram-se intensamente conectados na mini rede dos ofertantes de insumo-produto de 2014.

Em outro ponto comparativo, nos anos de 2000 e 2014 as redes de compradores de insumos mantiveram-se, em geral, concentradas nos maiores *hubs* do Resto do Mundo. Por outro lado, os principais ofertantes de insumos de notoriedade diversificaram-se entre vários países, tanto nas redes do ano 2000 quanto nas de 2014.

Em 2000, os principais setores vendedores de insumos delimitaram-se ao fornecimento de metais básicos, produtos químicos, equipamentos elétricos, produtos de madeira, de papel em geral, e de mineração. Na rede de 2014, além da maioria dos setores anteriormente mencionados continuarem entre os principais *hubs* nos dois anos, os principais setores ofertantes foram os produtos petrolíferos, publicidade, armazenagem, produtos de borracha e plástico, e infraestrutura e saneamento básico. Portanto, não se registrou apenas

uma maior concentração em determinados *hubs*, houve também uma maior diversificação no ano de 2014 em relação a 2000.

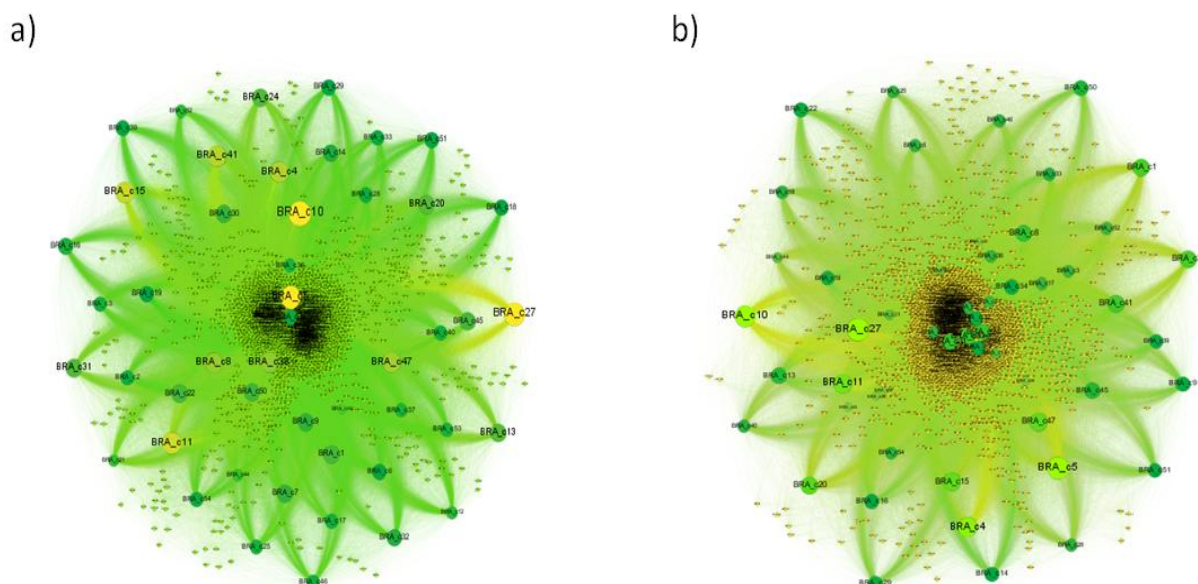
A caracterização da produção em escala com ampla parceria comercial no mercado global diferencia esses *hubs* em relação a outros setores conectados. As áreas constituídas por grandes produtores, os *hubs*, não apenas fabricam bens em escala e de alto valor agregado, como também, dentro da rede global, comercializam com vários outros setores e países.

Na próxima subseção, realizamos um comparativo entre as estruturas de redes complexas aplicadas à matriz insumo-produto entre Brasil e Estados Unidos.

4.3 Uma comparação entre as redes de insumo-produto do Brasil e dos Estados Unidos

A comparação entre as redes dos países Brasil e Estados Unidos tem como objetivo identificar características distintas de suas estruturas com base na matriz de coeficientes que pondera pelos pesos econômicos as ligações destes países. Para isso, desenvolvemos, individualmente, os grafos de grau médio ponderados das Figuras 12 e 14 para os anos 2000 e 2014.

Figura 12 - Rede de compra e venda de insumo-produto do Brasil*



Fonte: Elaboração própria. *Software* Gephi.

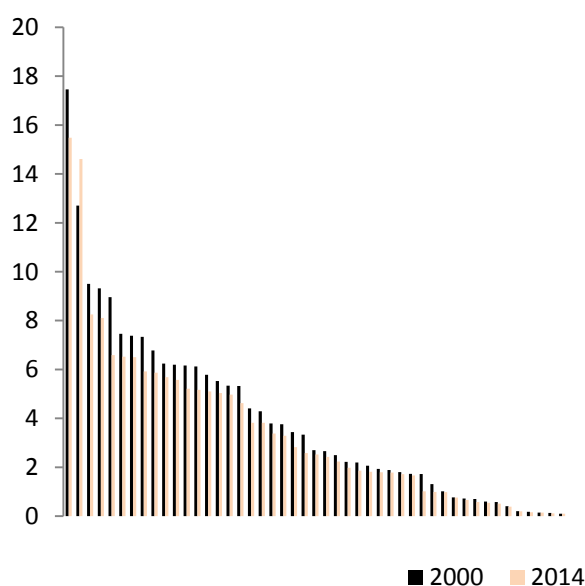
*Grafos de grau médio ponderados de 2000 (a) e 2014 (b).

As estruturas completas das conexões do Brasil apresentadas nos grafos (Figura 12), visualmente revelaram-se como redes de pequeno-mundo. Isto é, essas estruturas

apresentaram elevada conectividade, formando-se pequenas quantidades de conexões em cada vértice que, neste caso, estabeleceram as conexões entre os vértices mais próximos, como em uma rede mundo-pequeno (Metz *et al.*, 2007, p.7).

Entretanto, as medidas ponderadas e as relações internas de cada rede revelaram informações de possíveis estruturas de redes livres de escala. Para explorar essa possibilidade, consideramos os coeficientes técnicos da matriz insumo-produto do Brasil (Figura 13), em ordem decrescente. Tais características podem estar distribuídas na forma de leis de potência. Esta lei define-se, segundo Metz *et al.* (2007, p. 5), por $\rho_{\kappa'} \sim \kappa^{-\alpha}$, onde $\rho_{\kappa'}$ é a fração de nós da rede e o elemento κ é o k -ésimo grau computado. Portanto, apesar da rede parecer de mundo pequeno, quando levamos em conta os pesos econômicos a rede pode se revelar livre de escala.¹⁰

Figura 13 - A matriz de coeficientes do Brasil*



Fonte: Elaboração própria.

*Valores dos coeficientes técnicos estão em log e multiplicados por 100.

As Tabelas de 4 até 7 agrupam os dados classificados pelos 10 maiores setores em graus ponderados de entrada e saída com base nas métricas geradas pelo *software* Gephi para os dois países analisados. Na estrutura de rede do Brasil (Tabela 4), verificamos aumentos nesses valores para a maioria dos setores brasileiros, comparativamente, nos anos 2000 e 2014. Entretanto, alguns setores, como os produtores de petróleo, registraram queda nos pesos de suas ligações, outros não se inseriram entre os 10 maiores graus de entrada, como por

¹⁰ Mantem-se em aberto trabalhos sobre as propriedades de Leis de potência em estruturas de redes para pesquisas futuras.

exemplo, o setor de metais básicos, que perdeu peso econômico em suas relações, a montante, na cadeia de produção entre os dois anos.

O setor de construção do Brasil manteve-se como o principal vértice de graus de entrada ponderados. Economicamente, este setor apresentou elevado peso nas ligações a montante, um importante comprador de insumos dos produtores de minérios, de produtos químicos, de arquitetura e engenharia, entre outros.

No intuito de implementarem novas instalações ou de aumentarem suas estruturas produtivas já existentes, a demanda do setor de construção por insumos estabeleceu elos importantes de ligações para trás entre os ofertantes de bens intermediários na cadeia de produção.

Tabela 4 - Graus de entrada ponderados do Brasil.

2000			2014		
Setor	Class.*	GEP**	Setor	Class.*	GEP**
construção	1	5,04	construção	1	5,93
produtos alimentícios	2	4,98	produtos alimentícios	2	5,45
petróleo	3	4,09	petróleo	3	4,03
serviços financeiros	4	3,59	veículos automotivos	4	3,98
produtos químicos	5	3,31	produtos químicos	5	3,29
veículos automotivos	6	3,22	serviços financeiros	6	3,12
defesa e segurança	7	2,92	comércio varejista	7	3,07
metais básicos	8	2,62	defesa e segurança	8	2,95
Pesquisa científica e desenvolvimento	9	2,50	produção animal	9	2,88
produção animal	10	2,45	transp. terrestre e por oleodutos	10	2,71

Fonte: Elaboração própria. Software Gephi.

*Classificação.

**Graus de Entrada Ponderados.

Ademais, várias áreas de atuação da construção, como em edificações residenciais e comerciais e as demandas governamentais de construção de estradas, pontes, rodovias, consomem vários insumos como produtos de borracha e plástico, produtos minerais e metais básicos. Ou seja, há uma ampla absorção de insumos no encadeamento produtivo.

Os pesos das ofertas totais de insumo-produto do Brasil (Tabela 5) destacaram-se na produção de audiovisual, com o maior peso ponderado pelos coeficientes técnicos. Em geral, este *hub* revelou-se importante fornecedor de insumos, a jusante, nos dois anos. As relações econômicas deste setor interagem na comercialização de seus produtos e serviços com outros setores que, apesar de os produtos audiovisuais em si não terem elevado valor na formação do produto nacional, suas conexões ramificadas por vários outros demandantes incorporam alto peso econômico. Assim, os setores de telecomunicações, segurança e defesa pública e

veículos automotivos, demandam do mercado audiovisual brasileiro seus insumos em suas cadeias produtivas.

Tabela 5 - Graus de saída ponderados do Brasil.

2000			2014		
Setor	Class.*	GEP**	Setor	Class.*	GEP**
audiovisual	1	3,82	audiovisual	1	3,86
mineração	2	3,62	mineração	2	3,82
metais básicos	3	3,12	transporte hidroviário	3	3,19
Impressão e reprodução de mídia gravada	4	3,05	metais básicos	4	3,10
produtos de papel	5	3,01	Impressão e reprodução de mídia gravada	5	3,06
transporte hidroviário	6	3,01	Atividades legais e contábeis	6	3,00
Atividades legais e contábeis	7	2,98	produtos de papel	7	2,95
Pesquisa científica e desenvolvimento	8	2,91	Pesquisa científica e desenvolvimento	8	2,88
produtos de madeira	9	2,83	produtos de madeira	9	2,84
petróleo	10	2,74	armazenagem	10	2,73

Fonte: Elaboração própria. Software Gephi.

*Classificação.

**Graus de Saída Ponderados.

A produção audiovisual não se restringe aos produtos intangíveis nos encadeamentos produtivos deste setor, mas também incorporam demandas em áreas como infraestrutura, meios físicos de distribuição e exibição, como cabos de fibra óptica. Além das estruturas cinematográficas, que consomem produtos de informática, equipamentos elétricos, assim como pesquisa científica e desenvolvimento para novos produtos destinados ao setor audiovisual brasileiro.

Outro *hub* importante do Brasil em 2000 e 2014 (Tabela 5), o setor de mineração, manteve-se como segundo vendedor de maior peso econômico. Seus insumos englobam a oferta de bauxita para a fabricação de metais, tintas ou refratários; de grafite para a produção de aço, vidro, entre outros, agregando valor adicionado entre os elos da cadeia de produção.

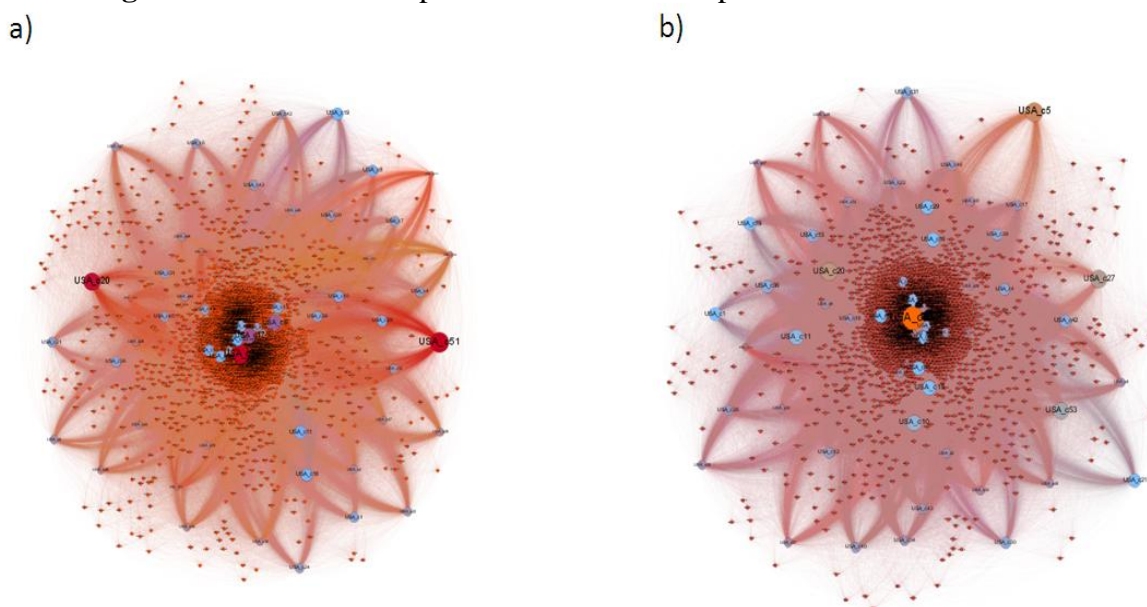
O setor de mineração é importante ofertante de matéria prima para diversos outros setores de diferentes países; entre estes, defesa e segurança pública dos Estados Unidos e os fabricantes de metais básicos de países como China e Japão. O transporte hidroviário passou de sexto em 2000 para terceiro na classificação por graus de saída ponderados em 2014. No que diz respeito ao seu peso econômico como vendedor, seus bens e serviços foram de suma importância ao escoamento de vários produtos como milho, soja e aço.

As áreas de atuação dos *hubs* compradores na rede do Brasil contemplaram setores da construção, produtos alimentícios, petróleo e fabricação de automóveis. No caso dos *hubs* vendedores de insumos, destacaram-se os setores do audiovisual, da mineração e do

transporte hidroviário. Ambos mostraram-se com importantes pesos econômicos, a jusante, nas cadeias de produção dentro de uma estrutura de redes.

Os grafos dos Estados Unidos na Figura 14 apresentam formas estruturais das redes visualmente equiparáveis aos grafos do Brasil, ou seja, mostraram-se como redes de pequeno mundo. Assim, conforme Metz *et al.* (2007, p.7), as estruturas das redes dos Estados Unidos também apresentaram padrões de alta conectividade, construindo-se pequenas quantidades de ligações entre os vértice mais próximos, como em uma rede mundo pequeno.

Figura 14 - Rede de compra e venda de insumo-produto dos Estados Unidos*



Fonte: Elaboração própria. *Software* Gephi.

*Grafos de grau médio ponderados de 2000 (a) e 2014 (b).

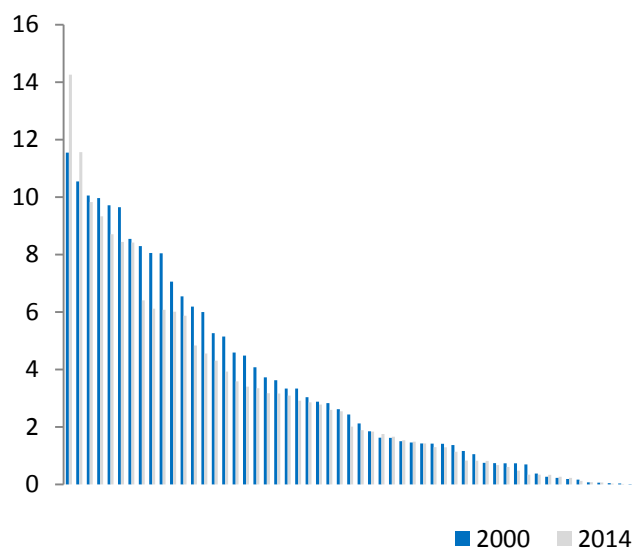
Todavia, quantitativamente, as conexões ponderadas pelos coeficientes matriciais nas duas redes sugerem estruturas de redes livres de escala, pelos indícios característicos de lei de potência destacados na Figura 15. Devido a não estimação das propriedade de lei de potência, novamente, mantem-se em aberto para trabalhos futuros.

Na rede dos Estados Unidos, dentre os principais graus de entrada ponderados pelo peso dos coeficientes matriciais (Tabela 6), o setor de defesa e segurança pública estadunidense teve elevado peso econômico em 2000 e 2014, colocando-se como o comprador de insumo-produto central na cadeia produtiva a montante.

Por meio das políticas de estado norte americanas advindas das demandas de suas instituições militares, criam-se ambientes favoráveis ao desenvolvimento de inovações em parceria com firmas do setor privado. Mas também se produzem novas patentes que garantam

aos agentes envolvidos poder de mercado e lucros econômicos, em geral, pela produção e consumo em massa.

Figura 15 - A matriz de coeficientes dos Estados Unidos*



Fonte: Elaboração própria.

*Valores dos coeficientes técnicos estão em log e multiplicados por 100.

Nesse processo, vários insumos compõem o importante encadeamento com efeitos multiplicativos nas ligações para trás. Dentre estes, os produtos incorporados em cada fase da cadeia produtiva consomem principalmente derivados do petróleo, transporte e infraestruturas. Estes insumos-chave agregam valor aos bens que, em determinadas estruturas produtivas, demandam maior especialização profissional, desenvolvimento tecnológico e capital humano.

Em 2000 e 2014 (Tabela 6), a fabricação estadunidense de veículos automotivos dentro de uma dinâmica comparável ao setor na Alemanha, demandou vários insumos como minério e produtos minerais não metálicos. Mas também foi importante demandante de publicidade e pesquisa de mercado, por exemplo, para divulgação e pesquisa de comportamento dos consumidores. Por isso, há ampla ramificação e importância econômica as ligações desse *hub* por diferentes setores.

A partir da segunda posição na Tabela 6, os graus ponderados se alternam de 2000 em relação a 2014. Em especial, o setor de construção dos Estados Unidos, em 2000, que se mostrou com o segundo maior grau de entrada ponderado, caiu para o quarto maior grau. Possivelmente, a crise financeira norte americana de 2008 gerou choques idiossincráticos

negativos no setor da construção, reduzindo sua importância econômica nos elos das ligações para trás.

Tabela 6 - Graus de entrada ponderados dos Estados Unidos.

2000			2014		
Setor	Class.*	GEP**	Setor	Class.*	GEP**
defesa e segurança	1	14,75	defesa e segurança	1	14,76
construção	2	13,67	produtos alimentícios	2	10,19
veículos automotivos	3	12,13	veículos automotivos	3	9,52
produtos alimentícios	4	9,67	construção	4	9,40
informática e eletrônicos	5	9,48	Saúde e trabalho social	5	8,93
Saúde e trabalho social	6	7,61	petróleo	6	6,81
máquinas e equipamentos	7	6,77	produtos químicos	7	6,30
produtos químicos	8	6,33	equipamentos de transporte	8	5,76
atividades imobiliárias	9	5,94	atividades imobiliárias	9	5,74
produtos metálicos	10	5,63	máquinas e equipamentos	10	5,73

Fonte: Elaboração própria. Software Gephi.

*Classificação.

**Graus de Entrada Ponderados.

A fabricação de veículos automotivos dos Estados Unidos, no ano 2000, manteve-se como o terceiro setor de maior grau de entrada ponderado em relação a 2014. Desta forma, a indústria automotiva norte americana ficou economicamente estável em relação às ligações de peso com alto valor agregado a montante na cadeia de produção.

No caso das vendas de insumos dos Estados Unidos (Tabela 7), a fabricação de metais básicos mostrou-se de maior peso ponderado nos dois anos. Esses insumos são integrados no encadeamento produtivo de setores fabricantes de máquinas e equipamentos, de produtos químicos e fabricantes automotivos.

Entretanto, os pesos econômicos das ligações do setor ofertante de metais básicos em relação ao setor demandante de segurança e defesa pública, apresentaram níveis discrepantes. O primeiro registrou em 2000 e 2014, respectivamente, graus ponderados 3,27 e 3,44. Já o segundo registrou graus ponderados no valor de 14,75 em 2000 e 14,76 em 2014 (Tabelas 6 e 7). Neste contexto, evidenciou-se o forte impacto nos elos do processo produtivo gerados pelas demandas do setor de segurança e defesa pública estadunidense.

A silvicultura estadunidense manteve-se com o peso ponderado estável em 2000 e 2014. Porém, seu peso nas ligações caiu da segunda para a terceira posição na Tabela 7. Em seguida, o setor de saneamento básico – sistema de esgoto e coleta de resíduos – passou de quarto para segundo na classificação de graus de saída ponderados.

Este *hub* (setor de saneamento básico) participou com elevado peso econômico, principalmente em 2014, dos encadeamentos das ligações para frente com outros setores, como atividades imobiliárias, saúde e trabalho social.

Tabela 7 - Graus de saída ponderados dos Estados Unidos.

2000			2014		
Setor	Class.*	GEP**	Setor	Class.*	GEP**
metais básicos	1	3,27	metais básicos	1	3,44
silvicultura	2	3,24	saneamento básico	2	3,36
pesca e aquicultura	3	3,09	silvicultura	3	3,24
saneamento básico	4	3,05	pesca e aquicultura	4	2,95
mineração	5	2,99	atividades postais e de correios	5	2,95
produtos de papel	6	2,98	armazenagem	6	2,89
atividades postais e de correios	7	2,89	produtos de papel	7	2,86
armazenagem	8	2,86	produtos de madeira	8	2,76
produtos metálicos	9	2,75	mineração	9	2,74
serviços administrativos	10	2,69	produtos metálicos	10	2,74

Fonte: Elaboração própria. Software Gephi.

*Classificação.

**Graus de Saída Ponderados.

Nos elos dessa cadeia de valor, os insumos do setor de saneamento básico incorporam valor adicionado ao setor imobiliário devido às demandas habitacionais por sistemas de esgoto e descarte adequado de resíduos.

No encadeamento do setor de saúde e trabalho social, mercadorias e serviços ofertados pelo setor como tratamento de esgoto e coleta de resíduos apresentam ligações de peso indispensáveis ao efetivo funcionamento das cadeias de valor em que estes setores se inserem.

Na comparação entre as estrutura de rede do Brasil e dos Estados Unidos, três setores importantes na cadeia de valor, a montante, compõem as redes dos dois países – construção, produtos alimentícios e fabricação de veículos automotivos. Por outro lado, outros importantes compradores do Brasil destacam-se como produtores de petróleo, produtos químicos e serviços financeiros. Ao contrário, na rede dos Estados Unidos, os principais *hubs* pertencem aos setores da defesa e segurança pública, produtos de informática e eletroeletrônicos e máquinas e equipamentos.

Em relação ao comparativo dos setores vendedores de insumo-produto, têm-se uma maior distinção entre as duas redes. Os *hubs* vendedores no Brasil destacam-se em setores ofertantes de audiovisual, mineração, metais básicos e, em especial, transporte hidroviário. No caso da rede dos Estados Unidos, o setor de metais básicos lidera entre os principais *hubs*, mas também os setores vendedores de insumo-produto importantes, como silvicultura, pesca e aquicultura, sistema de esgoto e atividades de coleta de resíduos.

Comparativamente, portanto, alguns dos principais *hubs* demandantes compõem as estruturas de redes tanto do Brasil quanto dos Estados Unidos, mas, em geral, outros setores apresentam características distintas nas ligações pra trás na cadeia de produção. Entretanto, os *hubs* que despontam como os principais vendedores de insumo-produto nas duas redes diferenciam-se entre si, evidenciando, assim, pesos econômicos distintos relacionados às ligações para frente em cada uma das estruturas de rede analisadas.

Apesar de estes *hubs* terem um peso econômico relativamente moderado, como se tratam de setores relativamente bem conectados na rede, estes são importantes para a manutenção da estrutura da rede de insumo-produto. Sua exclusão pode transformar fundamentalmente a arquitetura de rede nestes países.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho é explorar a aplicação e analisar economicamente as propriedades de rede da matriz insumo-produto mundial no período de 2000 e 2014.

A pesquisa bibliográfica, inicialmente, foi construída em torno da revisão da teoria do crescimento econômico, da teoria da matriz insumo-produto e da análise de redes. Por meio desta revisão, foi possível identificar que Hausmann *et al.* (2011), baseado em seus trabalhos de complexidade econômica, limitaram-se aos dados de exportação, excluindo a influência de outros produtos e serviços não inclusos em suas análises. Para contornar essas restrições, notou-se que a matriz insumo produto reúne propriedades similares às redes e que, portanto, poderia ser uma possibilidade para exploração de análise de redes em problemas econômicos.

Para isso, exploramos a combinação entre as aplicações da teoria de redes e a teoria insumo-produto, mediante o peso das relações intersetoriais modeladas em estruturas de redes. Para tal objetivo, utilizamos dados do *World Input-Output Database* (WIOD) referentes à matriz insumo-produto composta por 43 países e o Resto do Mundo para o período de 2000 e 2014.

De posse dos dados, obtivemos informações sobre as características de redes dos países analisados, bem como as propriedades inerentes aos setores e suas relações comerciais, assim como os *hubs* que compõem os principais compradores e vendedores de insumo-produto inseridos no processo de encadeamento por meio dos elos adjacentes.

Entre os principais compradores de insumos na rede global em 2000 e 2014, os países que fazem parte do Resto do Mundo despontaram-se com vários setores importantes em áreas como construção e energia elétrica. Mas também a Alemanha destacou-se com o setor automotivo, comprador de importante peso econômico nas ligações para trás da cadeia de produção. Esse resultado não é gratuito, já que o nível de comércio nesta agregação é relativamente elevado.

Já os setores vendedores de insumo-produto, em 2000, apresentaram uma desconcentração de suas conexões na rede, formando comunidades relativamente isoladas entre si. Em contrapartida, os principais setores ofertantes, em 2014, concentraram-se em especial em dois *hubs* os produtores de petróleo de Chipre e Eslovênia, que se destacaram como os *hubs* de maior peso econômico e altamente ramificados na estrutura de rede global.

Mediante os resultados analisados, quase todas as redes construídas evidenciaram as relações domésticas como as de maior peso econômico nos elos da cadeia de valor, em relação às ligações com os setores externos. Porém, as redes de Chipre, Dinamarca, Malta e

Resto do Mundo, registraram, em 2014, os setores externos como os mais importantes economicamente nas relações de compra e venda de insumo-produto. A China apresentou relações mais estreitas com o conjunto de países do resto do mundo e não com os países mais centrais. Verificamos também, em sua rede, pesos econômicos importantes em suas relações comerciais com os outros países asiáticos.

Os resultados comparativos das redes do Brasil e dos Estados Unidos mostraram, inicialmente, características de redes de pequeno-mundo. Todavia, levantamos a possibilidade dessas estruturas serem de redes do tipo livres de escala, que seguem uma lei de potência.

Na rede do Brasil, o comprador de maior peso econômico revelou-se no setor da construção em 2000 e 2014. Por outro lado, o *hub* vendedor de insumo-produto brasileiro destacou-se pelo setor audiovisual, no mesmo período. Já na rede dos Estados Unidos, o setor de defesa e segurança pública evidenciou o alto peso econômico nas ligações para trás, mantendo-se na primeira posição nos dois anos. Por outro lado, o *hub* ofertante de metais básicos na rede norte americana colocou-se como principal fornecedor de matéria-prima, componente essencial no encadeamento produtivo nos anos 2000 e 2014.

Inseriram-se como *hubs* três setores estadunidenses dentre os 10 principais setores compradores de maior frequência na rede mundial – setor de defesa e segurança pública, construção e produtos eletroeletrônicos, em 2000. Contudo, estes não se mantiveram entre os 10 maiores *hubs* em 2014.

Os setores pertencentes à rede do Brasil não se destacaram como *hubs* em nenhum dos períodos analisados, sejam como ofertantes ou como demandantes. Desta forma, apesar de terem setores importantes para o crescimento do produto, nenhum dos 56 setores brasileiros inseriu-se como um *hub* na rede global.

Motivado pelos resultados apresentados, concluímos que a aplicação da análise de redes em matrizes insumo produto é possível e pode trazer novas contribuições para o estudo de economias individuais e cadeias globais de valor. Sobretudo, o contexto econômico demanda o desenvolvimento de novas métricas de rede que considerem, além do tamanho dos vértices, o peso das conexões econômicas.

Os custos computacional e temporal, anteriormente informados, para a construção dos grafos, revelaram-se importantes limitadores do presente trabalho. Para pesquisas futuras, portanto, uma primeira possibilidade seria buscar servidores apropriados para a possibilidade de estimação da rede de insumo-produto mundial completa. Um segundo estudo seria examinar as características das redes pela quantificação das possíveis de leis de potência.

REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D. et al. The network origins of aggregate fluctuations. **Econometrica**, Vol. 80, No. 5 (September, 2012), 1977–2016. Disponível na Internet: <<https://economics.mit.edu/files/8135>>. Acesso em: 17 nov. 2017.
- ACEMOGLU, D.; ROBINSON, J. **Por que as nações fracassam**: as origens do poder, da prosperidade e da pobreza. Tradução de Cristiana Serra. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier, 2012. Disponível na Internet: <<http://lelivros.love/book/baixar-livro-por-que-as-nacoes-fracassam-james-robinson-em-pdf-epub-e-mobi-ou-ler-online/>>. Acesso em: 19 jan. 2018.
- AGHION, P.; HOWITT, P. **Endogenous growth theory**. Cambridge: The MIT Press, 1998. 694p.
- AGHION, P.; HOWITT, P. **The economics of growth**. Cambridge: The MIT Press, 2009. 475p.
- ALBERT, R.; BARABÁSI, A.-L. Statistical mechanics of complex networks. **Rev. Mod. Phys.** Vol. 74, 30 jan. 2002, pp. 47-97. Disponível na Internet: <<http://barabasi.com/f/103.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- ARROW, K. J. The Economic Implications of Learning by Doing. **The Review of Economic Studies**, Vol. 29, No. 3 (Jun., 1962), pp. 155-173. Disponível na Internet: <<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/ECON206/Course%20material/Arrow%20Learning%20by%20Doing%20RES1962.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2018.
- BALASSA, B. The Purchasing-Power Parity Doctrine: A Reappraisal. **Journal of Political Economy**, Vol. 72, No. 6 (Dez., 1964), pp. 584-596. Disponível na Internet: <<https://www.academia.edu/RegisterToDownload#ChooseAccountChecklists>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, vol. 286, (15 out. 1999), pp. 509-512. Disponível na Internet: <<http://barabasi.com/f/67.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- BRUE, S. L. **História do Pensamento Econômico**. Tradução de Luciana Penteadó Miquelino. 6. Ed. Eletrônica Macquete Produções, São Paulo, 2005.
- CORREA FILHO, S. L. S.; BARROS, D. C.; CASTRO, B. H. R. de; FONSECA, P. V. da R.; GORNSXTEJN, J. Panorama sobre a indústria de defesa e segurança no Brasil. **BNDES Setorial**, n.38, 2013. Disponível na Internet: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2684/1/BS%2038_panorama%20sobre%20a%20industria%20de%20defesa_P.pdf> Acesso em: 01 Nov. 2018.
- DIREÇÃO-GERAL DE COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO EUROPEIA. **Chipre em Síntese**. União Europeia, Europa.eu, 15 de novembro de 2018. Disponível em: <https://europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries/cyprus_pt>. Acesso em: 18 Nov. 2018

DIREÇÃO-GERAL DE COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO EUROPEIA. **Eslovénia em Síntese**. União Europeia, Europa.eu, 15 de novembro de 2018. Disponível em: <https://europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries/slovenia_pt>. Acesso em: 18 Nov. 2018

DOMAR, E. D. Expansion and employment. **The American Economic Review**, Vol. 37, No. 1 (Mar., 1947), pp. 34-55. Disponível na Internet: <<http://piketty.pse.ens.fr/files/Domar1947.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

GALA, P. **A Cepal acertou**: análise de complexidade para entender Prebisch e Furtado. Economia Essencial para entender o Brasil e o Mundo, 12 de novembro de 2017. Disponível na Internet: <<http://www.paulogala.com.br/a-cepal-estava-certa/>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

GALA, P.. **A vingança dos estruturalistas**. Economia Essencial para entender o Brasil e o Mundo, 05 de fevereiro de 2015. Disponível na Internet: <<http://www.paulogala.com.br/a-vinganca-dos-estruturalistas-o-atlas-da-complexidade-economica-como-breakthrough-empirico-que-faltava-a-hirschman-nurkse-rosestein-rodan-singer-lewis-myrdal-prebisch-e-furtado/>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

GIL, A. C. **Técnicas de pesquisa em economia**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 221p

GUILHOTO, J. J. M. Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos. **Munich Personal RePEc Archive**, São Paulo, SP, 2011. Disponível na Internet: <<https://mpra.ub.uni-muenchen.de/32566/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 277-299, abr./jun. 2005. Disponível na Internet: <<https://guilhotojjmg.files.wordpress.com/2011/05/metodologia-guilhoto-sesso-ea-20051.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005. **Economia & Tecnologia**. UFPR/TECPAR. Ano 6, Vol 23, Out./Dez. 2010. ISSN 1809-080X. Disponível na Internet: <<http://www.usp.br/nereus/wp-content/uploads/Metodologia-guilhoto-sesso-EA-2010.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

HARROD, R. F. An Essay in Dynamic Theory. **The Economic Journal**, Vol. 49, No. 193 (Mar., 1939), pp. 14-33. Disponível na Internet: <<http://piketty.pse.ens.fr/files/Harrod1939.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2018.

HAUSMANN, Ricardo et al. The Atlas of Economic Complexity Mapping Paths to Prosperity. **Massachusetts Institute of Technology and Center for International Development, Harvard University**, Cambridge, MA, 2011. Disponível na Internet: <<https://atlas.media.mit.edu/static/pdf/atlas/AtlasOfEconomicComplexity.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017

HAUSMANN, Ricardo et al. The Atlas of Economic Complexity Mapping Paths to Prosperity. **Massachusetts Institute of Technology and Center for International Development, Harvard University**, Cambridge, MA, 2013. Disponível na Internet: <

https://growthlab.cid.harvard.edu/files/growthlab/files/atlas_2013_part1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.

HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Cambridge, MA, 2009. Disponível na Internet: <<http://www.pnas.org/content/106/26/10570.full> >. Acesso em: 20 nov. 2017.

JONES, C. I. **Introdução à teoria do crescimento econômico**. Rio de Janeiro: Ed. Campos, 1997.

KEYNES, J. M. **A teoria geral do emprego, do juro e da moeda: inflação e deflação**. 2. ed. São Paulo: Nova Cultural, c1985. xxv, 333 p.

LACERDA, S. M. Evolução recente do transporte hidroviário de cargas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 20, p. 253-280, set. 2004. Disponível na Internet: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2005.pdf> Acesso em: 01 Nov. 2018.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 315p.

LUCAS, R. E. Jr. On the mechanics of economic development. **Journal of Monetary Economics**, 22 (1988), pp. 3-42. Disponível na Internet: <<https://www.parisschoolofeconomics.eu/docs/darcillon-thibault/lucasmecanicseconomicgrowth.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

MAIA NETO, A. A.; BERNI, D. A. **Técnicas de pesquisa em economia: transformando curiosidade em conhecimento**. São Paulo: Saraiva, 2002. 408p.

MANKIW, N. G.; ROMER D.; WEIL, D. N. A contribution to the empirics of Economic growth. **The Quarterly Journal of Economics**, May 1992, pp. 407-437. Disponível na Internet: <<http://piketty.pse.ens.fr/files/MankiwEtal92.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

MELLO, G.; GOLDENSTEIN, M.; FERRAZ, R. O audiovisual brasileiro em um novo cenário. **BNDES Setorial**, n.38, 2013. Disponível na Internet: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3808.pdf> Acesso em: 01 Nov. 2018.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. Cambridge, GBR: Cambridge University Press, 2009. Disponível na Internet: <http://static.gest.unipd.it/~birolo/didattica11/Materiale_2012/_Materiale_2015/Miller_Blait-input-output_analysis.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2018.

MONTEIRO FILHA, D. C.; COSTA, C. R. da.; FALEIROS, J. P. M.; NUNES, B. F. Construção civil no Brasil: investimentos e desafios. In: BNDES. **Construção Civil: Perspectivas do Investimento, 2010-2013**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1261/1/Perspectivas_do_Investimento_2010-13_completo.pdf >. Acesso em: 1 Nov. de 2018.

NEWMAN, M. E. J. The structure and function of complex networks. **SIAM Review**, 2003, vol. 45, No. 2, pp. 167–256. Disponível na Internet: <<https://epubs.siam.org/doi/pdf/10.1137/S003614450342480>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

RICARDO, David. **Princípio de economia política e tributação**. São Paulo: Nova Cultural, 1985. 285p.

ROMER, Paul M. Endogenous Technological Change. **Journal of Political Economy**, 1990, vol. 98, no. 5, pt. 2, pp. 71-102. Disponível na Internet: <<http://pages.stern.nyu.edu/~promer/Endogenous.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

SMITH, Adam. **Inquérito sobre a natureza e as causas da riqueza das nações**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1950. 2v.

SOLOW, Robert M. A contribution to the theory of economic growth. **Quarterly Journal of Economics**, Vol. 70, No. 1 (Feb., 1956), pp. 65-94. Disponível na Internet: <<http://piketty.pse.ens.fr/files/Solow1956.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

APÊNDICE A – Descrição dos Setores WIOD*

C1	Atividades de serviço de colheita e produção animal, caça e relacionados
C2	Silvicultura e exploração madeireira
C3	Pesca e Aquicultura
C4	Mineração e pedreiras
C5	Fabricação de produtos alimentícios, bebidas e produtos de tabaco
C6	Fabricação de têxteis, vestuário e produtos de couro
C7	Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de palha e de cestaria
C8	Fabricação de papel e produtos de papel
C9	Impressão e reprodução de mídia gravada
C10	Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados
C11	Fabricação de elementos químicos e produtos químicos
C12	Fabricação de produtos farmacêuticos básicos e preparações farmacêuticas
C13	Fabricação de produtos de borracha e plástico
C14	Fabricação de outros produtos minerais não metálicos
C15	Fabricação de metais básicos
C16	Fabricação de produtos metálicos fabricados, exceto máquinas e equipamentos
C17	Fabricação de produtos de informática, eletrônicos e ópticos
C18	Fabricação de equipamentos elétricos
C19	Fabricação de máquinas e equipamentos
C20	Fabricação de veículos automotivos, reboques e semirreboques
C21	Fabricação de outros equipamentos de transporte
C22	Fabricação de móveis; outra fabricação
C23	Reparação e instalação de máquinas e equipamentos
C24	Fornecimento de eletricidade, gás, vapor e ar condicionado
C25	Recolhimento, tratamento e abastecimento de água
C26	Sistema de esgoto; atividades de coleta, tratamento e disposição de resíduos; recuperação de materiais; atividades de remediação e outros serviços de gestão de resíduos
C27	Construção
C28	Comércio atacadista, de varejo e reparação de veículos automotivos e motocicletas
C29	Comércio atacadista, exceto de veículos automotivos e motocicletas
C30	Comércio varejista, exceto de veículos automóveis e motocicletas
C31	Transporte terrestre e transporte por oleodutos
C32	Transporte hidroviário
C33	Transporte aéreo
C34	Armazenagem e atividades de apoio para transporte
C35	Atividades postais e de correios
C36	Atividades de alojamento e serviço de alimentação
C37	Atividades Publicitárias
C38	Produção de filmes, vídeos e programas de televisão, gravação de som e edição de música; atividades de programação e radio difusão
C39	Telecomunicações
C40	Programação de computadores, consultoria e atividades relacionadas; atividades de serviços de informação
C41	Atividades de serviços financeiros, exceto seguros e fundos de pensão
C42	Seguro, resseguro e fundos de pensão, exceto previdência social obrigatória
C43	Atividades auxiliares de serviços financeiros e atividades de seguros
C44	Atividades imobiliárias
C45	Atividades legais e contábeis; atividades de sedes; atividades de consultoria em gestão
C46	Atividades de arquitetura e engenharia; teste e análise técnica
C47	Pesquisa científica e desenvolvimento
C48	Publicidade e pesquisa de mercado
C49	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas; atividades veterinárias
C50	Atividades de serviços administrativos e de suporte
C51	Administração pública e defesa; segurança social obrigatória
C52	Educação

(continua)

C53	Saúde humana e atividades de trabalho social
C54	Outras atividades de serviço
C55	Atividades de agregados familiares como empregadores; atividades diferenciadas de produção de bens e serviços das famílias para uso próprio
C56	Atividades de organizações e corporações extraterritoriais

Fonte: *World Input-Output Database (WIOD).

APÊNDICE B – Códigos de identificação dos países WIOD*

Códigos	Países
AUS	Austrália
AUT	Áustria
BEL	Bélgica
BRA	Brasil
BGR	Bulgária
CAN	Canada
CHN	China
CHE	Suíça
HRV	Croácia
CYP	Chipre
CZE	República Checa
DNK	Dinamarca
ESP	Espanha
EST	Estônia
FIN	Finlândia
FRA	França
DEU	Alemanha
GBR	Reino Unido
GRC	Grécia
HUN	Hungria
IND	Índia
IDN	Indonésia
IRL	Irlanda
ITA	Itália
JPN	Japão
KOR	Coréia
LVA	Letônia
LTU	Lituânia
LUX	Luxemburgo
MLT	Malta
MEX	México
NLD	Países Baixos
NOR	Noruega
POL	Polônia
PRT	Portugal
ROW	Resto do Mundo
ROU	Romênia
RUS	Rússia
SVK	Eslováquia
SVN	Eslovênia
SWE	Suécia
TWN	Taiwan
TUR	Turquia
USA	Estados Unidos

Fonte: *World Input-Output Database (WIOD).