



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO

EDUARDO MONTEIRO DE CASTRO

ANÁLISE DA DINÂMICA COEVOLUTIVA A PARTIR DA TEORIA DE
REDES: Estudo de Caso da Ferrovia Brasileira entre 1998 e 2021

Belo Horizonte

2022

EDUARDO MONTEIRO DE CASTRO

**ANÁLISE DA DINÂMICA COEVOLUTIVA A PARTIR DA TEORIA DE
REDES: Estudo de Caso da Ferrovia Brasileira entre 1998 e 2021**

Dissertação de mestrado apresentada à comissão avaliadora designada pelo colegiado do Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração, da Faculdade de Ciências Econômicas, da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Gonzalez Duarte

Co-orientador: Prof. Dr. Tiago Schieber

Linha de pesquisa: Estratégia, Mercadologia e Operações

Belo Horizonte

2022

Ficha Catalográfica

C355a
2022

Castro, Eduardo Monteiro de.
Análise da dinâmica coevolutiva a partir da teoria de redes
[manuscrito] : estudo de caso da ferrovia brasileira entre 1998 e
2021 / Eduardo Monteiro de Castro. – 2022.
122 f., il., gráfs. e tábs.

Orientador: Roberto Gonzalez Duarte.
Coorientador: Tiago Alves Schieber de Jesus.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração.
Inclui bibliografia (f. 97-102) e anexos.

1. Transporte ferroviário de carga – Teses. 2. Transporte
ferroviário – Brasil – Teses. 3. Análise de redes (Planejamento) –
Teses. 4. Logística empresarial – Teses. I. Duarte, Roberto
Gonzalez. II. Jesus, Tiago Alves Schieber de. III. Universidade
Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em
Administração. IV. Título.

CDD: 658

Elaborado por Leonardo Vasconcelos Renault CRB-6/2211
Biblioteca da FACE/UFMG. – LVR/106/2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado em Administração do Senhor **EDUARDO MONTEIRO DE CASTRO**, REGISTRO Nº 753/2022. No dia 20 de julho de 2022, às 09:00 horas, reuniu-se remotamente, por videoconferência, a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração do CEPEAD, em 04 de julho de 2022, para julgar o trabalho final intitulado "ANÁLISE DA DINÂMICA COEVOLUTIVA A PARTIR DA TEORIA DE REDES: Estudo de Caso da Ferrovia Brasileira entre 1998 e 2021", requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Administração, linha de pesquisa: Estratégia, Mercadologia e Operações. Abrindo a sessão, o Senhor Presidente da Comissão, Prof. Dr. Roberto Gonzalez Duarte, após dar conhecimento aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

APROVAÇÃO

REPROVAÇÃO

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Senhor Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 20 de julho de 2022.

Prof. Dr. Roberto Gonzalez Duarte
ORIENTADOR - CEPEAD/UFMG

Prof. Dr. Tiago Alves Schieber de Jesus
Coorientador - CAD/UFMG

Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves
Faculdade de Engenharia/UFIF

Profª. Drª. Renata Petrin
PUC-Minas

Documento assinado eletronicamente por Roberto Gonzalez Duarte, Professor do Magistério Superior, em 20/07/2022, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.243, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Tiago Alves Schieber de Jesus, Professor do Magistério Superior, em 20/07/2022, às 12:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Luiz Henrique Dias Alves, Usuário Externo, em 20/07/2022, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Renata Petrin, Usuário Externo, em 22/07/2022, às 14:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1570028 e o código CRC 83410496.

AGRADECIMENTOS

Concluir o mestrado foi resultado de uma união de fatores. Ao longo dessa trajetória, muitas pessoas cruzaram meu caminho para me ajudar a construir esta pesquisa.

A primeira dessas pessoas é meu orientador, Prof. Roberto. Desde o dia que me acolheu em seu grupo de pesquisas até o fim da redação deste estudo, ele sempre esteve presente, dando asas para ideias por vezes mirabolantes, mas com sabedoria para pousar o pássaro quando era necessário. Minha gratidão será eterna.

Esta pesquisa deve muito às sugestões do meu co-orientador, Prof. Tiago. Muito obrigado pela solicitude em me ajudar prontamente.

Sou grato também ao Prof. Luiz Henrique, meu grande amigo há 21 anos e o grande incentivador dessa trajetória acadêmica.

Agradeço também a minha família e aos amigos, especialmente a meus pais, irmãos, filhos, esposa, sogro, sogra e aos amigos do grupo de pesquisa sobre coevolução.

Por fim, agradeço à UFMG, aos professores e a todos os colaboradores. Tenho muito orgulho de fazer parte dessa comunidade.

RESUMO

O mais importante meio de escoamento das exportações de minério de ferro e produtos agrícolas — principais produtos da pauta de exportações brasileiras — é a ferrovia. Na década de 90, logo antes da privatização do setor ferroviário brasileiro, os trens eram responsáveis pelo transporte de aproximadamente 20% do total de carga no Brasil. Após 27 anos de presença privada no setor, não houve alteração significativa neste percentual, mostrando que o setor não avançou na participação da movimentação de carga no país, mesmo tendo dobrado o volume transportado e tendo crescido exponencialmente seus investimentos nos 18 anos seguintes à privatização. Após esse período, ainda se observam problemas de interconexão entre as concessionárias, indisponibilidade de rotas e vagões, baixa flexibilidade das operações, baixa velocidade do modal, pouca utilização da malha ferroviária e alta concentração da carga em poucos tipos de produtos. Assim, diante de um setor cujos atrativos ambientais, econômicos e sociais são comparativamente maiores que o setor rodoviário e de um país cujas características geográficas são apropriadas para esse tipo de transporte, por que a evolução do setor ferroviário não foi capaz de ganhar espaço no crescimento do transporte de carga no Brasil? Para analisar a interação entre a ferrovia brasileira e o ambiente econômico, utilizou-se a perspectiva da coevolução e a teoria de redes para explicar os mecanismos de impulsão e amortecimento dessa dinâmica entre 1998 e 2021. Mediante o uso de medidas de dissimilaridades de redes complexas, evidenciaram-se as interações não lineares entre a ferrovia e o ambiente econômico brasileiro ao longo dos últimos 23 anos de presença privada neste setor. A medida de dissimilaridade permite evidenciar a dinâmica coevolutiva entre esses distintos níveis do setor ferroviário e econômico brasileiro. E, de maneira mais específica, a pesquisa contribui na análise quantitativa entre as relações do setor e do ambiente econômico, unindo a perspectiva da coevolução e a teoria de redes.

Palavras-Chave: Dinâmica Coevolutiva, Teoria de Redes, Medida D, Ferrovia Brasil.

ABSTRACT

The most important way of transporting exports of iron ore and agricultural products – the main products on the Brazilian export agenda – is the railroad. In the 1990s, just before the privatization of the Brazilian rail sector, trains were responsible for transporting approximately 20% of the total cargo in Brazil. After 27 years of private presence in the sector, there was no significant change in this percentage, showing that the sector did not advance in the share of cargo handling in the country, even having doubled the volume transported and having grown its investments exponentially in the 18 years following privatization. After this period, there are still problems of interconnection between the concessionaires, unavailability of routes and wagons, low flexibility of operations, low speed of the modal, little use of the rail network and high concentration of cargo in few types of products. Thus, faced with a sector whose environmental, economic and social attractions are comparatively greater than the road sector and a country whose geographical characteristics are appropriate for this type of transport, why was the evolution of the railway sector not able to gain space in the growth of cargo transport in Brazil? To analyze the interaction between the Brazilian railroad and the economic environment, the perspective of co-evolution and network theory was used to explain the mechanisms of impulse and damping of this dynamic between 1998 and 2021. Through the use of measures of dissimilarities of complex networks, the non-linear interactions between the railroad and the Brazilian economic environment over the last 23 years of private presence in this sector were evidenced. The dissimilarity measure makes it possible to highlight the co-evolutionary dynamics between these different levels of the Brazilian railway and economic sector. And, more specifically, the research contributes to the quantitative analysis between the relations of the sector and the economic environment, uniting the perspective of co-evolution and the network theory.

Keywords: Coevolutionary Dynamics, Network Theory, Measure D, Railroad Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Malha Ferroviária Brasileira	19
Figura 2 - Organização da Rede com laços fortes e fracos, por triênio.....	67
Figura 3 - Recorte da rede original com as maiores oscilações de variáveis e interações - Triênios 2 e 3	73
Figura 4 - Recorte da rede original com as maiores oscilações de variáveis e interações - Triênios 5 e 6.....	77
Figura 5 - Recorte da rede original com as maiores oscilações de variáveis e interações - Triênios 7 e 8.....	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Investimentos e volumes transportados pela ferrovia brasileira	15
Gráfico 2 - Valor do frete de diferentes meios de transporte no Brasil.....	16
Gráfico 3 - Distribuição de acidentes no modal ferroviário	17
Gráfico 4 - Série histórica da participação do setor ferroviário na matriz de transporte brasileira	18
Gráfico 5 - Avanço do termo "coevolução" na Base Scopus	25
Gráfico 6 - Tipo de metodologia usada em estudos sobre coevolução no século XXI..	43
Gráfico 7 - Avanço do Transporte Ferroviário no Brasil	60
Gráfico 8 - Ferrovia e o Setor Rodoviário de Cargas	62
Gráfico 9 - Distribuição dos Laços na Rede por Quartis.....	65
Gráfico 10 - Relação de Laços Fortes e Fracos na Rede	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição das palavras usadas para qualificar a coevolução.....	31
Tabela 2 - Variáveis do Banco de Dados e Justificativas.....	49
Tabela 3 - Banco de Dados Original	53
Tabela 4 - Valores da Medida D.....	55
Tabela 5 - Matriz de Base para formação da rede - Primeiro Triênio.....	66
Tabela 6 - Distribuição de laços na rede por triênio.....	69

LISTA DE SIGLAS

ABCR	Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional dos Transportes Terrestres
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
EPL	Empresa de Planejamento e Logística
FEPASA	Ferrovias Paulista S.A.
FICO	Ferrovias de Integração Centro-Oeste
FIOL	Ferrovias de Integração Oeste-Leste
FNS	Ferrovias Norte-Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MINFRA	Ministério da Infraestrutura
PDE	Plano Decenal de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
RFSA	Rede Ferroviária Federal S.A.
TKU	Tonelada-Quilômetro-Útil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização do setor ferroviário	14
1.2	Perspectiva Teórica da Pesquisa	21
1.2	Pergunta de Pesquisa e Objetivos Geral e Específicos.....	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	A Perspectiva Coevolutiva no Século XX	24
2.2	Pressupostos da Perspectiva Coevolutiva.....	28
2.3	Dinâmica Coevolutiva.....	32
2.4	Coevolução entre os níveis meso (setorial) e macro (ambiente econômico)	41
2.5	Teoria de Redes.....	43
2.5.1	Medidas de Dissimilaridade em Redes e Dinâmicas Coevolutivas.....	44
3	METODOLOGIA	48
3.1.	Pressupostos Metodológicos e Teóricos da Pesquisa.....	48
3.2	Organização do Banco de Dados.....	49
3.2.1	Banco de Dados Gerado.....	53
3.3	Descrição do Tratamento dos Dados.....	54
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
4.1	Apresentação dos Resultados	59
4.2	Análise dos Resultados.....	70
4.2.1	Triênios 2 e 3 (2001 a 2006)	71
4.2.2	Triênios 5 e 6 (2010 a 2015)	75
4.2.3	Triênios 7 e 8 (2016 a 2021)	78
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	83
5.1	Dinâmica Coevolutiva – Propriedades e Mecanismos de Amortecimento	83
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
8	ANEXOS.....	102
8.1	Anexo I - Funções	102
8.2	Anexo II – Rotinas	109
8.3	Anexo III – Matriz para organização das redes.....	120

1 INTRODUÇÃO

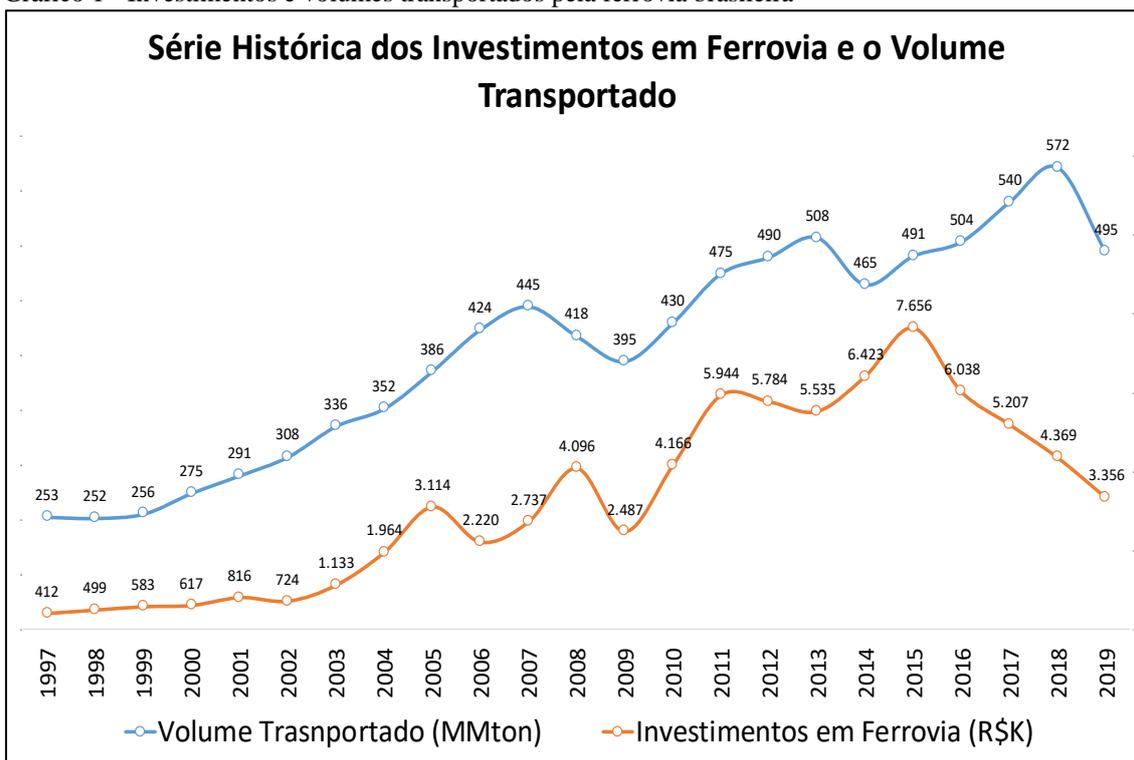
Nesta introdução, expõe-se, primeiramente, uma breve contextualização do setor ferroviário, apresentando os avanços em investimentos e volumes transportados, suas vantagens ambientais e sociais comparadas aos outros modais de transporte e as disparidades do setor encontradas no Brasil em comparação com outros países de mesma dimensão e/ou com perfil de transporte de carga similar. Discutem-se ainda as características do ambiente regulatório e econômico em que o setor está imerso. Subsequentemente, apresentam-se brevemente a perspectiva da coevolução e a teoria das redes, pilares teóricos do estudo. Por fim, constam a pergunta de pesquisa e seus objetivos geral e específicos.

1.1 Contextualização do setor ferroviário

Depois da crise mundial de 1929, o Brasil vivenciou a diversificação da sua agricultura, o desenvolvimento de seu parque industrial e a migração de grande contingente populacional para os centros urbanos, fatores que fortaleceram o mercado consumidor interno. Uma vez que as ferrovias interligavam as regiões produtoras aos portos do país e aos grandes centros consumidores (fato preponderante ainda hoje), não houve interesse econômico em expandir a ferrovia para regiões com menor densidade populacional. As rodovias ofereciam maior flexibilidade, menor custo e menor tempo de construção. O Plano de Metas do governo Juscelino Kubitschek, por exemplo, previu, entre 1957 e 1961, a construção de 3.000 Km de ferrovia, mas realizou apenas 1.000 Km. Por outro lado, foi prevista a construção de 13.000 Km de rodovias, mas foram efetivamente construídos 17.000 Km. Comparativamente ao número de ferrovias, foram planejados 4,3 vezes mais rodovias e executadas 17 vezes mais (DURÇO, 2015).

Atualmente, o setor ferroviário brasileiro é responsável pelo transporte de 90% do minério de ferro e de aproximadamente 50% dos produtos agrícolas e seus insumos dentro do país (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES, 2020). A privatização do setor em meados da década de 90 trouxe uma dinâmica mais acelerada para o modal, o que pode ser comprovado pelo aumento médio anual do volume transportado e pelos investimentos do setor privado (Gráfico 1) ao longo desses anos. No Gráfico 1 abaixo, observa-se que o volume transportado dobrou e que os investimentos cresceram exponencialmente até 2015, apesar da queda a partir de 2016.

Gráfico 1 - Investimentos e volumes transportados pela ferrovia brasileira

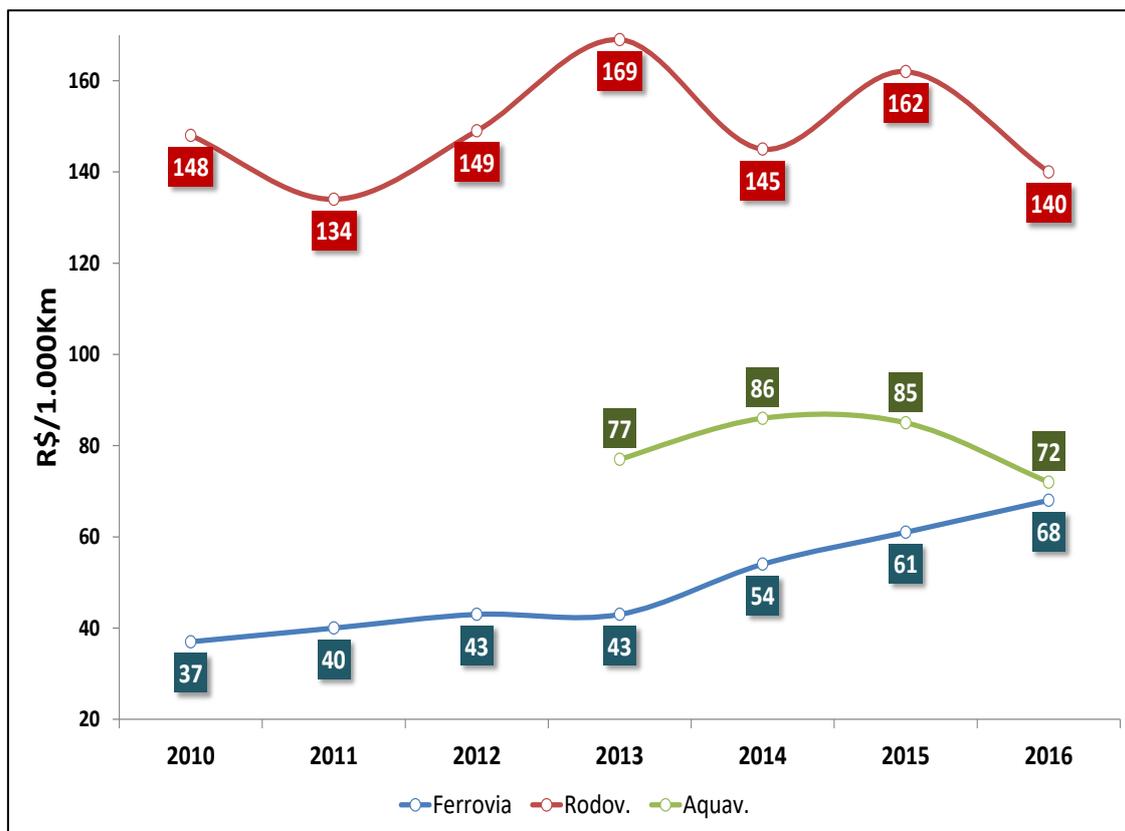


Fonte: Adaptado pelo autor do Anuário Setor Ferroviário ANTT (2017), Revista Ferrov. (2017) e ANTF (2021).

O transporte ferroviário oferece vantagens, principalmente para países de dimensões continentais como no caso brasileiro, a saber: (i) menores custos de transporte; (ii) reduzido impacto ambiental se comparado com outros tipos de transporte; e (iii) segurança da operação ferroviária. Apesar de o custo do frete ferroviário no Brasil ter crescido mais de 80% entre 2010 e 2016, ao contrário do que ocorreu nos modais aquaviário e rodoviário, ainda custava a metade se comparado ao modal rodoviário, conforme pode ser visto no Gráfico 2 (MINFRA, 2016).

Do ponto de vista ambiental, o transporte ferroviário emite menos dióxido de carbono na atmosfera do que o modal rodoviário. O setor de transporte total (incluindo hidroviário, rodoviário, ferroviário e aeroviário) é responsável por quase 50% das emissões de dióxido de carbono totais no Brasil. Deste total, o setor rodoviário responde por aproximadamente 91% das emissões e transporta cerca de 76% dos produtos brasileiros, ao passo que o setor ferroviário responde por apenas 2% das emissões e transporta cerca de 20% de toda a carga brasileira (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES, 2020).

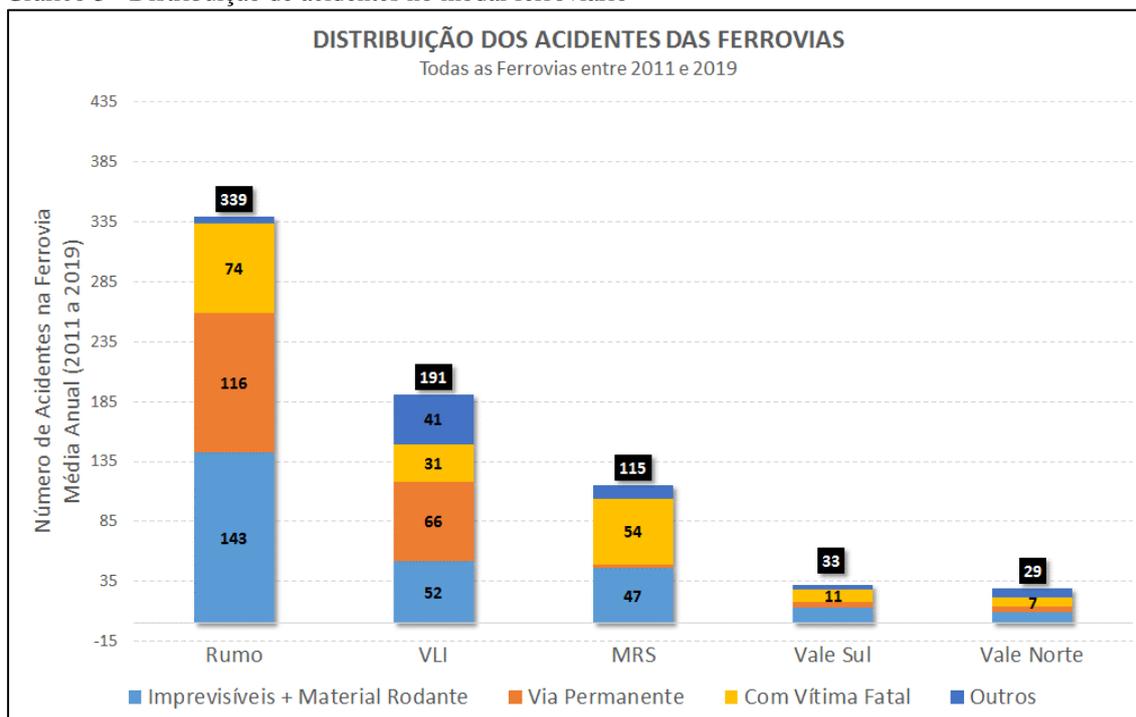
Gráfico 2 - Valor do frete de diferentes meios de transporte no Brasil



Fonte: Adaptado pelo autor a partir do Anuário Estatístico Transporte 2016.

No que se refere à segurança da operação ferroviária, o índice de fatalidade gira em torno de 180 casos anualmente, numa média feita entre 2011 e 2019 (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES, 2020). No Gráfico 3, é possível verificar a distribuição de todos os tipos de acidentes (incluindo as fatalidades) ocorridos na ferrovia entre 2011 e 2019, estratificados entre as principais concessionárias no Brasil. Para fins de comparação, no caso do transporte rodoviário envolvendo caminhões, esse número foi de 3.170 fatalidades por ano, em uma média feita entre 2007 e 2018 (CNT, 2019 p. 42). Mesmo considerando o fato de que o transporte rodoviário transporta 76% da carga total do país, o número de fatalidade neste modal é de quase 42 mortes por cada percentual da carga do país transportada por caminhões. No caso do setor ferroviário, esse número gira em torno de 10 mortes por percentual da carga brasileira transportada por trens, ou seja, quatro vezes menos a quantidade de mortes nas estradas envolvendo caminhões.

Gráfico 3 - Distribuição de acidentes no modal ferroviário

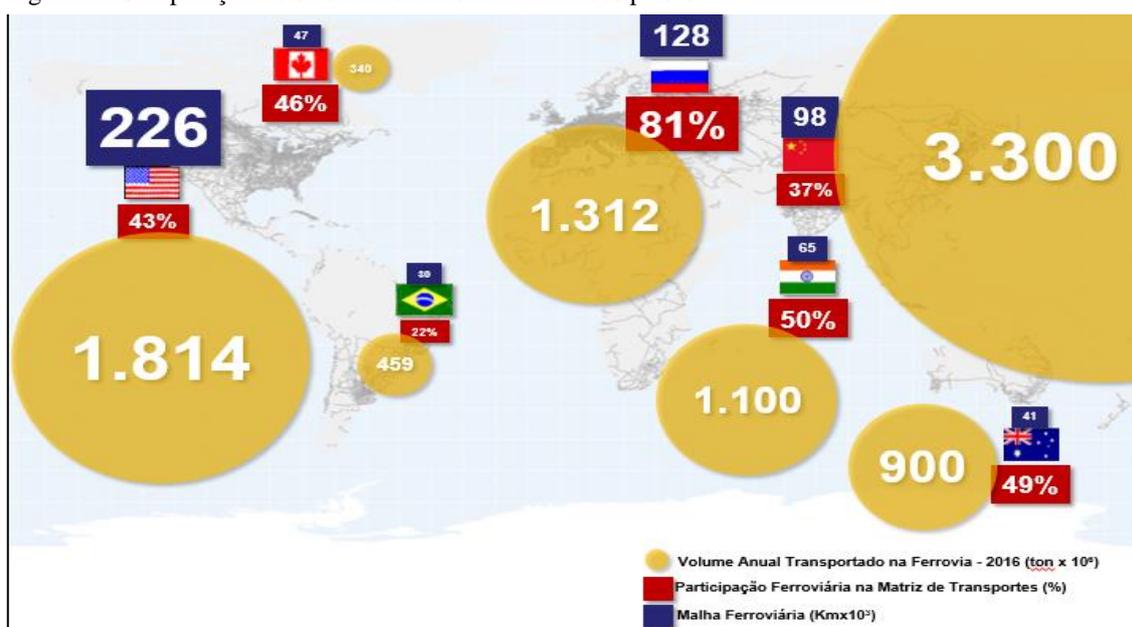


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Relatório Anual da ANTF 2020.

Apesar das vantagens, o modal ferroviário ainda é pouco desenvolvido no país. Tendo como referência países de dimensões e perfis de transporte similares, percebe-se uma discrepância na densidade da malha entre o Brasil e esses países. Enquanto nos EUA e na Índia a densidade supera os 20 Km de malha por Km² de área territorial, no Brasil a densidade não chega a 4 km de malha por Km² (MINFRA, 2021). E mesmo com essa baixa densidade, apenas uma pequena parte é realmente usada com eficiência. Em torno de 84% de todo o volume transportado por ferrovias está concentrado em apenas 11% da malha brasileira. Além disso, o crescimento do transporte ferroviário deveu-se ao aumento da produção de minério de ferro, que representa, em volume, cerca de 75% do total transportado pela ferrovia (FERROVIÁRIA, 2019).

A Figura 1 abaixo apresenta uma comparação entre diversos países, levando em conta o volume anual transportado, a participação percentual da matriz ferroviária na matriz de transportes e o tamanho da malha ferroviária. A seleção dos países (EUA, Canadá, Rússia, China, Índia, Brasil e Austrália) foi feita considerando a área territorial e o perfil dos insumos transportados. O Brasil é o país que menos transporta percentualmente via ferrovias e o que tem a menor malha deste modal entre os países selecionados. Além disso, o país supera apenas o Canadá em volume anual transportado, mas está muito distante dos volumes transportados pelos países restantes.

Figura 1 - Comparação do setor ferroviário entre diversos países.

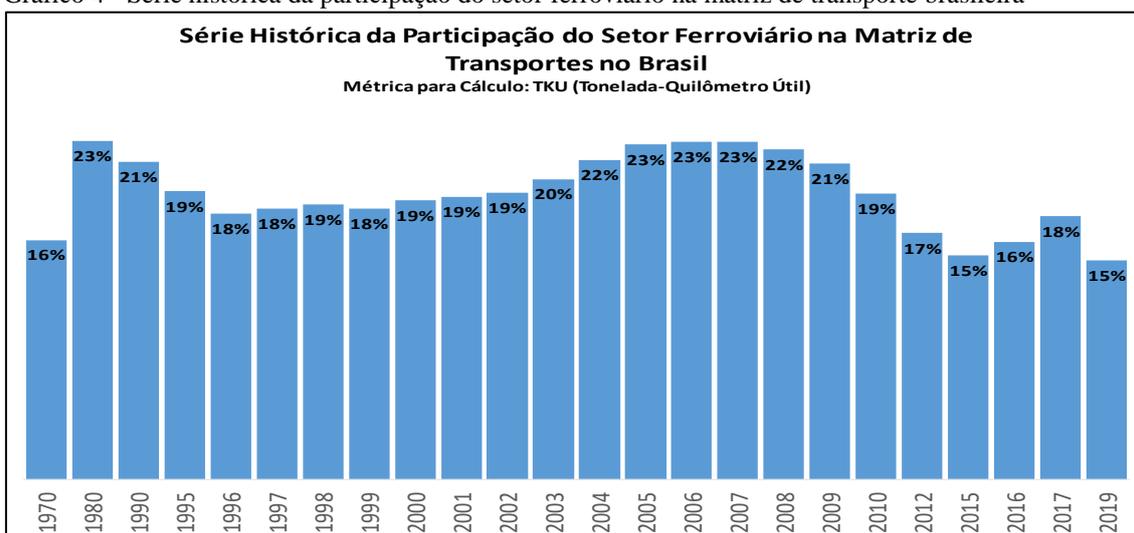


Fonte: Adaptada da *National Transport Commission* Austrália, 2015; *United States International Trade Commission*, 2016.

Soma-se a isso o fato de que o crescimento percentual deste modal sobre a matriz de transporte total, que era de 20% logo antes das privatizações, alcançou máximos de 23% no período, mas reduziu-se para 15% em 2019, conforme

Gráfico 4 abaixo¹. Ou seja, em 25 anos de presença privada no setor, observa-se que o setor ferroviário não foi capaz de ganhar mais espaço na matriz de transportes no Brasil.

Gráfico 4 - Série histórica da participação do setor ferroviário na matriz de transporte brasileira

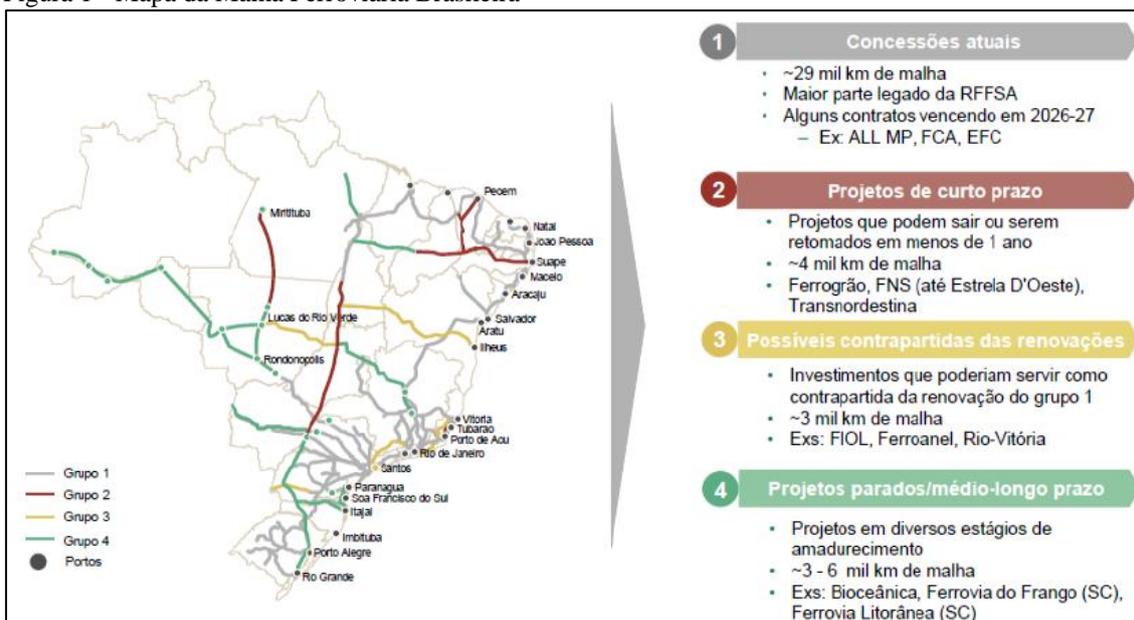


Fonte: Elaborado pelo autor com base no ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES, 2020; DADOS; SETOR, 2012; FERROVIÁRIA, 2019; MINFRA, 2021.

¹ O percentual de 15% é encontrado oficialmente no *site* da ANTF. Porém, trata-se de uma métrica que pode ser medida de diversas maneiras, tais como a Tonelada-Útil ou Tonelada-Quilômetro Útil. Além disso, para dados da movimentação de carga rodoviária, existe o índice ABCR, que não se relaciona diretamente com o TKU, dificultando a relação entre os diversos modais de transporte.

Muito apelo se tem feito para incentivar os investimentos nesse setor e elevar sua participação na matriz de transporte brasileira, tendo como vetores o adiantamento da renovação das concessões atuais e o novo marco regulatório. A Figura 1 mostra a malha ferroviária brasileira com seus quase 30.000 Km de extensão atuais, considerando as linhas já existentes e os projetos em fases diversas de implantação, tais como os trechos da Norte-Sul, Ferrogrão, Transnordestina, Fico e Fiol.

Figura 1 - Mapa da Malha Ferroviária Brasileira



Fonte: FERROVIÁRIA, 2019.

Além disso, tem-se discutido sobre os modelos para renovação dessas concessões, no sentido de incentivar a competitividade e a integração das ferrovias brasileiras, o aumento do *mix* de produtos transportados, a eliminação dos gargalos em áreas próximas aos portos, as barreiras ambientais e, por fim, a redução dos conflitos com as populações em torno da ferrovia (MINFRA, 2021).

Resumidamente, o desenvolvimento do setor ferroviário tem vários atrativos econômicos, ambientais e sociais para o Brasil, além de fazer parte de um país cuja área é muito apropriada para esse tipo de transporte. Para cada 1% de aumento da participação do setor ferroviário na matriz de transporte brasileira, reduz-se em torno de 1% das emissões totais de CO₂ no Brasil e evitam-se cerca de 100 mortes anuais por acidente nas estradas envolvendo caminhões (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES, 2020; CNT, 2019). No entanto, este setor não avançou o suficiente para protagonizar o

crescimento do transporte de carga em geral no país após as concessões na década de 90, mesmo tendo havido investimentos significativos por parte das concessionárias.

Do ponto de vista institucional, o setor ferroviário está submetido a dois entes regulatórios: o Ministério da Infraestrutura ou MINFRA (antigo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil) e a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres). O MINFRA ocupa-se da formulação, coordenação e supervisão das políticas relativas à ferrovia; do planejamento estratégico e do estabelecimento de diretrizes para sua implementação; da definição das prioridades dos programas de investimentos e da aprovação dos planos de outorgas. A ANTT, autarquia vinculada ao MINFRA e criada em 2001 para regular o transporte rodoviário e ferroviário, possui competências típicas de um órgão regulador, a saber: exploração da infraestrutura ferroviária e a prestação de serviço público do transporte ferroviário de cargas e passageiros. No setor ferroviário, suas competências estão relacionadas à fiscalização da operação ferroviária e à regulação dos regimes de serviços do interesse público, tais como concessão das ferrovias e permissão e autorização do transporte ferroviário de cargas e passageiros. Além desses dois entes, existe ainda a Valec Engenharia, uma empresa pública vinculada ao MINFRA, fundada em 2008, com o objetivo de construir e explorar a infraestrutura ferroviária no Brasil. Entre suas atribuições, estão a administração dos programas de operação da infraestrutura ferroviária; o desenvolvimento dos estudos e projetos de obras de infraestrutura; a construção, operação e exploração das estradas de ferro; e a promoção do desenvolvimento do transporte de carga sobre trilhos (NETO *et al.*, 2010).

Os contratos firmados entre a União e as concessionárias ferroviárias em 1997 previam a exploração do transporte ferroviário de carga e estabeleciam políticas tarifárias, a fim de garantir o equilíbrio econômico-financeiro das operações e a rentabilidade do operador ferroviário. Em contrapartida, as concessionárias deveriam atingir metas anuais de volume transportado, reduzir o número de acidentes e garantir o acesso ao tráfego mútuo entre as concessionárias ou permitir o direito de passagem mediante pagamento de uma tarifa acordada. Nesse sentido, a maior dificuldade em relação ao marco regulatório foi a restrição do investimento privado no setor, em virtude da falta de uma definição clara de quais investimentos caberiam ao setor privado e quais eram de responsabilidade da União. Além disso, não havia uma conexão clara entre o alcance das metas de volume transportado e a segurança da operação ferroviária e o investimento privado. Além disso,

havia uma inibição do investimento privado em virtude de que, ao fim da concessão, os recursos investidos retornariam ao Estado, limitando, assim, os investimentos destinados ao aumento da capacidade da via férrea. No entanto, o maior obstáculo ao desenvolvimento do transporte ferroviário decorreu da baixa interpenetração de uma concessionária na malha da outra, criando monopólios que buscariam o equilíbrio econômico-financeiro e a rentabilidade dos acionistas dentro da sua própria área de abrangência. De fato, as maiores dificuldades apresentadas pelo setor produtivo no que tange ao uso de ferrovias estão vinculadas à indisponibilidade de rotas, à baixa flexibilidade das operações, à baixa velocidade do modal, à indisponibilidade de vagões e, conseqüentemente, aos custos elevados que essa ineficiência gera, mesmo com o valor do frete sendo comparativamente menor do que os outros modais de transporte (NETO *et al.*, 2010).

Do ponto de vista econômico, observa-se que o setor ferroviário está intimamente ligado ao agronegócio, à indústria extrativa e ao setor portuário brasileiro, negócios cujos preços estão vinculados à taxa de câmbio e taxa de juros do país. Nesse sentido, a alocação de investimentos federais e privados em ferrovia, portos e rodovias também exerce grande influência na dinâmica do setor. Importante notar também o resultado econômico-financeiro das concessionárias e a rentabilidade dos acionistas que atuam no ambiente econômico em que está imerso o setor ferroviário (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES, 2020). Em suma, a evolução do setor ferroviário esteve ligada com o ambiente econômico brasileiro, sobretudo a indústria extrativa, o agronegócio, o setor portuário e todos os indicadores econômicos que direta ou indiretamente exerceram influência em cada um destes setores da economia brasileira.

1.2 Perspectiva Teórica da Pesquisa

Tendo em vista essa inter-relação, esta pesquisa analisa a dinâmica coevolutiva entre o setor ferroviário e o ambiente econômico brasileiro entre 1998 e 2021. Analisam-se as interações entre o setor ferroviário e o ambiente, a fim de se compreender como tais relacionamentos ora impulsionaram o avanço do setor, ora o restringiram. Para tratar teoricamente a interação entre o setor ferroviário e o ambiente econômico brasileiro, utiliza-se a perspectiva da coevolução, que é apropriada, sobretudo. Para se compreender

como os mecanismos coevolutivos explicam essa dinâmica, em particular, como o setor e o ambiente se influenciam mutuamente.

Originalmente, o conceito de coevolução foi proposto por estudiosos da área da biologia (EHRlich; RAVEN, 1964), mas, a partir da década de 90, os estudos organizacionais e estratégicos também se apropriaram desse conceito a fim de compreender a interação ao longo do tempo entre as organizações e seus ambientes. Diante de um mundo cada vez mais complexo e dinâmico (PORTER, 2006), em que as teorias tradicionais não eram capazes de explicar adequadamente as relações de causalidades mútuas e de processos não lineares, a coevolução mostrou-se uma alternativa para se analisar a interação entre as organizações e seu ambientes e, mais especificamente, a influência mútua entre ambos (LEWIN; VOLBERDA, 1999; MCKELVEY, 2002). Não significa, porém, que a coevolução seja apenas o estudo das organizações e seus ambientes a partir pura e simplesmente da observação de caminhos paralelos, sem uma inter-relação entre eles. Ao contrário, significa dizer que ambos são interdependentes, relacionam-se de forma recursiva, influenciam-se mutuamente ao longo do tempo e, mais importante, que nem a organização, nem o ambiente é passivo em relação ao outro (CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013).

Do ponto de vista metodológico, os estudos coevolutivos, em sua maioria estudos longitudinais qualitativos, descrevem as relações de causalidade sob o aspecto interpretativo. Nesta dissertação, discutem-se especificamente como as propriedades da coevolução, em particular, os efeitos amplificadores ou amortecedores, afetam a dinâmica coevolutiva ao longo do tempo. Metodologicamente, trata-se de um estudo quantitativo usando uma medida de dissimilaridade de redes complexas proposta por SCHIEBER *et al.* (2017). Dessa forma, analisa-se um conjunto maior de variáveis do setor ferroviário e do ambiente econômico brasileiro entre 1998 e 2021.

Tendo em vista o propósito de realizar um estudo quantitativo, utilizou-se a Teoria de Redes que é capaz de analisar as ligações entre diversos agentes em uma estrutura de redes e daí tirar conclusões de centralidade, similaridade e distanciamento entre os agentes envolvidos na rede. Sua vantagem está em ser capaz de extrair ligações entre agentes, algo que os métodos estatísticos tradicionais de correlação e regressão não são capazes de fazer (BARABASI, 2016). Usando a medida de dissimilaridade (SCHIEBER *et al.*, 2017), é possível descobrir os laços fortes e fracos que ligam os

agentes e, a partir deles, discutir a dinâmica coevolutiva, mais especificamente os mecanismos de impulsão e amortecimento presentes na coevolução.

1.2 Pergunta de Pesquisa e Objetivos Geral e Específicos

Diante do exposto, a pergunta que esta pesquisa se propõe responder é: **Como a ferrovia e o ambiente econômico brasileiro coevoluíram entre 1998 e 2021?**

O objetivo geral da pesquisa é:

- A pesquisa tem como objetivo geral analisar a dinâmica coevolutiva entre a ferrovia e o ambiente econômico brasileiro.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Identificar as variáveis que influenciaram a evolução da ferrovia;
- Descrever as interações entre a ferrovia e o ambiente econômico entre 1998 e 2021;
- Explicar os efeitos do amortecimento e amplificação da dinâmica coevolutiva entre a ferrovia e o ambiente econômico brasileiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta dissertação emprega a perspectiva da coevolução e, mais especificamente, suas propriedades, em particular os mecanismos de amortecimento e amplificação da dinâmica coevolutiva (LEWIN; VOLBERDA, 1999; MCKELVEY, 2002), a fim de compreender a interação entre um setor e o ambiente econômico. Além dessa perspectiva, utilizam-se também a teoria de redes e, de maneira mais específica, uma medida de dissimilaridade (medida D) proposta por SCHIEBER *et al.* (2017). Sendo assim, apresenta-se, primeiramente, a trajetória da pesquisa sobre coevolução em Teoria Organizacional nas últimas décadas. Em seguida, discutem-se os pressupostos da coevolução. Subsequentemente, analisam-se os mecanismos da coevolução e a dinâmica coevolutiva, ressaltando-se o papel de dois mecanismos — amortecimento e amplificação — para essa dinâmica (MCKELVEY, 2002). Por fim, faz-se uma discussão sobre teoria de redes e as medidas de dissimilaridade aplicadas nesta pesquisa para relacioná-las com os mecanismos da dinâmica coevolutiva através dos laços fortes e fracos encontradas nas ligações entre o setor ferroviário e o ambiente econômico brasileiro.

2.1 A Perspectiva Coevolutiva no Século XX

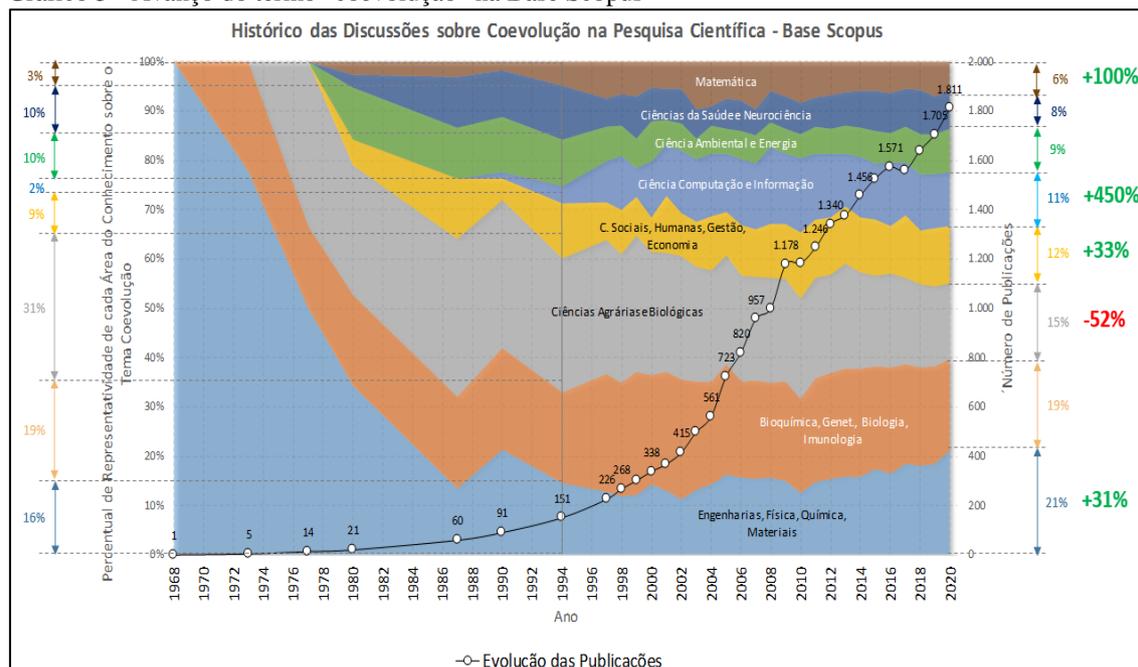
O termo coevolução tem sido cada vez mais utilizado por acadêmicos de diferentes áreas do conhecimento, mas originou-se na biologia evolucionária, nos debates sobre adaptação e seleção dos seres vivos a partir do início do século XIX² (CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013). De maneira geral, a coevolução representa o processo evolucionário baseado na interação entre duas espécies e nas respostas recíprocas de uma a outra (EHRLICH; RAVEN, 1964).

O Gráfico 5 mostra o avanço do termo ‘coevolução’ em variadas áreas científicas, da década de 60 até os dias atuais. Este gráfico ilustra, primeiramente, o quão abrangente pode ser o termo ‘coevolução’, abrindo espaço na literatura acadêmica para um grande número de diferentes significados que esse termo por assumir. Nota-se também um avanço exponencial de publicações, alcançando 1.811 artigos publicados somente em 2020. Enquanto na década de 90 a área da biologia liderava as publicações (31% do total),

² Para um debate minucioso da evolução do conceito desde a biologia (Lamarck, 1809; Darwin, 1859; Baldwin, 1896) até os estudos organizacionais, ver CHILD; TSE; RODRIGUES (2013, p. 16–23).

seguida pela bioquímica e genética (19%) e, em seguida, pelas engenharias, química e física (16%), em 2020 o *ranking* inverteu-se³. A ciência da computação e a matemática ganharam mais espaço, aumentando em 450% e 100% respectivamente o número de publicações, em relação aos anos 1990. Nas ciências sociais, em estudos organizacionais e economia, esse avanço foi de 33% em três décadas, com um pouco mais de 200 publicações em 2020.

Gráfico 5 - Avanço do termo "coevolução" na Base Scopus



Fonte: A partir da Base Scopus (Elsevier), com dados extraídos em maio/2021, através do termo de busca “coevolut*” no título, palavras-chave ou resumo.

Aparentemente, o primeiro autor a propor que a conduta social era o produto da coevolução entre a biologia e cultura humanas foi Durham (1976)⁴, doze anos após a publicação do primeiro artigo científico que cunhou o termo coevolução, na ocasião

³ Conforme o gráfico, no ano de 2020, a área da biologia passou a representar 15% do total, superada pelas áreas de bioquímica e genética, com 19% do total, e das engenharias, química e física, com 21% do total.

⁴ Homans (1950) (MCKELVEY, 2002) analisou pioneiramente a coevolução entre a atitude dos membros do grupo e as normas do grupo. No entanto, essa não era uma proposta similar à de Durham (1976), que mesclava a biologia e a conduta cultural. Dunn e Boulding (1971) também identificaram similaridades entre sistemas sociais e ecológicos, criando analogias entre mutações genéticas, tecnologia e inovações sociais ou entre sobrevivência dos mais aptos e a competição econômica e institucional, mas abordaram a questão como fenômenos paralelos e não coevolutivos (NORGAARD, 1984).

estudando a relação entre plantas e borboletas (EHRlich; RAVEN, 1964)⁵. Neste artigo, Durham discute a coevolução a partir de paradigmas epistemológicos distintos, a saber, de um lado, o objetivismo das teorias positivistas⁶ e, de outro lado, o subjetivismo das teorias pós-modernas (MOON; BLACKMAN, 2014). Essa discussão foi retomada por Mckelvey (1997), quando o autor propôs uma “Ciência Quase Natural” para romper com a guerra paradigmática entre positivistas e pós-modernistas, sugerindo um *framework* que uniria a intencionalidade e a subjetividade do agente com as ciências naturais e o objetivismo. Existia, portanto, uma dificuldade de diálogo entre diferentes paradigmas epistemológicos que, na visão destes autores, poderia ser conciliada utilizando-se a perspectiva da coevolução, uma vez que essa perspectiva era capaz de caminhar entre os diversos paradigmas epistemológicos usados nas ciências (MCKLEVEY, 2002).

Nas ciências econômicas, Norgaard (1984, 1988) sugeriu que a fragmentação do conhecimento e as ênfases atomística e mecanicista da sociedade criavam dificuldades para compreender o caminho do desenvolvimento econômico atual, dificultando a percepção de processos coevolucionários. Segundo o autor, era urgente a mudança de uma compreensão mecanicista para a compreensão coevolucionária dos sistemas que explicam o desenvolvimento econômico. Nesse caso, a coevolução seria uma proposta interativa capaz de superar os desafios enfrentados pela relação causal linear dos processos mecanicistas do século XX. Segundo este autor, na visão coevolutiva, os processos, tanto naturais quanto sociais, são altamente complexos, permitindo infinitas combinações e recursividade constante entre as partes, que interagem o tempo todo.

Na década de 90, diferentes estudos foram publicados, a partir da perspectiva da coevolução. Yates (1993), por exemplo, que desenvolveu um estudo empírico longitudinal ilustrando o processo coevolutivo entre a indústria de seguros de vida e a indústria de tabulação de dados durante os séculos XIX e XX, concluiu que a indústria de seguros não foi simplesmente uma receptora passiva dos dados da indústria de informação. Ao contrário, encorajou o desenvolvimento de mercados e tecnologias, inclusive influenciando a configuração dos equipamentos de tabulação de dados dessa

⁵ Ehrlich e Raven cunharam o termo coevolução (MCKELVEY, 2002; PORTER, 2006). Não obstante, um ano antes, Maruyama (1963) apresentou um trabalho precursor sobre as taxas de coevolução e mutação, tomando como base o trabalho prévio de Wright (1932) (MCKELVEY, 2002).

⁶ Porter (2006), seguindo Hatch e Yanow (2003), também afirmou que a coevolução era capaz de suplantar o evolucionismo positivista a partir de uma mudança para o pensamento baseado em processo, além de expandir a percepção das influências mútuas entre os atores e as instituições.

indústria. Seus argumentos mostraram que essa interação continuada foi capaz de moldar ambas as indústrias e apresentar um processo dinâmico de coevolução que relacionou inovação e o processo pelo qual cada indústria serviu de molde para a outra. Baum e Singh (1994), por sua vez, publicaram um artigo apresentando as limitações dos estudos sobre organizações e seus ambientes. Ou seja, se o enfoque dos estudos eram as organizações, os ambientes ficavam em segundo plano na análise; por outro lado, se os ambientes tinham preponderância no estudo, o segundo plano ficava com as organizações. Isso impedia a análise dos processos de causalidade mútua, interdependência ou processos de *feedbacks* entre diferentes populações. Na visão desses autores, a abordagem coevolucionária, seja ela direta (entre duas populações) ou difusa (entre uma miríade de populações), seria capaz de avaliar processos complexos e instáveis entre as organizações e seus ambientes, a partir da sua interação não linear. Nelson (1994), por exemplo, discutiu a coevolução entre instituições, tecnologia e estrutura industrial, sugerindo que o desenvolvimento das organizações pode ser inócuo se os seus investimentos e suas capacidades inerentes estiverem descompassadas da sua maturidade tecnológica, ou seja, os investimentos, as capacidades e a tecnologia das organizações inter-relacionam-se em uma dinâmica coevolutiva. Levinthal e Myatt (1994), por sua vez, usaram as empresas de fundos mútuos e seus mercados para explorar uma lacuna na literatura relativa à dinâmica dos eventos iniciais capazes de propagar o avanço das capacidades inerentes das organizações. Os autores argumentam que essa dinâmica é amplificada pelas atividades desses mercados, bem como é também amortecida (efeito inercial) pela natureza relacional das relações de troca.

Entre 1997 e 1999, vários artigos foram publicados utilizando a perspectiva da coevolução para entender diferentes fenômenos organizacionais. Para procurar unir a intencionalidade do indivíduo e os fenômenos naturais que independem de sua conduta, McKelvey (1997) argumentou que a dinâmica coevolutiva é uma ferramenta adequada para estudar conjuntamente, de forma interdependente, tanto a intencionalidade humana quanto os fenômenos naturais. Koza e Lewin (1998, 1999) concluíram que as alianças estratégicas só podem ser devidamente compreendidas em um contexto em que a adaptação das firmas coevolui conjuntamente a essas alianças ao longo do tempo. Dijksterhuis, Van Den Bosch e Volberda (1999) e Lewin, Long e Carroll (1999) propuseram *frameworks* para a coevolução de novas formas organizacionais que reflete a natureza multinível e multidirecional do desenvolvimento conjunto de ambientes de

negócios. Sakano e Lewin (1999) estudaram o impacto da sucessão de CEOs nas organizações japonesas sob a ótica coevolutiva e concluíram que essa mudança não era suficiente para dar protagonismo a esses agentes no que se referia ao direcionamento estratégico das empresas nos primeiros dois anos da mudança, em contraste com o que ocorria nos EUA. McKelvey (1999) e Anderson (1999) discutiram a perspectiva coevolutiva a partir da Teoria da Complexidade nos estudos organizacionais e propuseram modelos quantitativos de análise dos mecanismos coevolutivos entre as organizações e seus ambientes, abrindo espaço para ferramentas metodológicas mais sofisticadas para analisar sistemas organizacionais complexos. Van Den Bosch, Volberda e De Boer (1999) avançaram na compreensão de como o ambiente de conhecimento coevolui com as novas formas organizacionais emergentes. Os autores propuseram um *framework* coevolutivo para demonstrar que a capacidade das organizações de combinar seus conhecimentos inerentes com as oportunidades tecnológicas latentes (*combinative capabilities*) interage ao longo do tempo, de modo que seus efeitos são capazes de agregar no nível de conhecimento absorvido destas organizações.

Lewin e Volberda (1999) avançaram o debate entre a Teoria Ecológica, ocupada com os processos de seleção, variação e retenção, e o Gerenciamento Estratégico, focado nos processos de adaptação, propondo a perspectiva coevolutiva como uma ferramenta que poderia unir essas teorias com enfoques distintos e discutir a micro e a macrocoevolução num *framework* único. Nesse artigo, os autores apresentaram as limitações das Teorias Organizacionais, que procuravam entender a dinâmica das organizações, mas eram incapazes de avaliar o contexto geral. Como proposta, sugeriram propriedades fundamentais para o avanço das pesquisas.

2.2 Pressupostos da Perspectiva Coevolutiva

Nesta seção, abordam-se os pressupostos da coevolução nos estudos organizacionais. Discutem-se as vantagens da sua aplicação no sentido de se relacionar a intencionalidade dos agentes e o ambiente em que estão inseridos. Em um segundo momento, alguns artigos seminais serão usados como referência para discutir o termo mais adequado a ser empregado para qualificar a coevolução dentro do campo da Teoria Organizacional.

Por trás do debate entre os fenômenos de seleção e adaptação das organizações está, de um lado, a intencionalidade dos agentes e, do outro, o determinismo do ambiente organizacional (BAUM; SINGH, 1994; LEWIN; VOLBERDA, 1999). McKelvey (1997) percebeu, na intencionalidade do agente, o que ele chamou de intenção idiossincrática (responsável pela adaptação das firmas), ao mesmo tempo que observou regularidades sistemáticas no ambiente organizacional (responsável pela seleção das firmas) que não dependiam da intenção dos atores. Enquanto algumas teorias usavam somente a intencionalidade dos agentes para explicar os processos adaptativos das organizações (Teoria da Capacidade Dinâmica, Visão Interpretativa da Estratégia, Teorias do Aprendizado e Teoria da Escolha Estratégica); outras⁷ (Ecologia da População, Teoria Institucional e Economia Evolucionária) abordavam os processos de seleção, variação e retenção das organizações, usando, sobretudo, a influência do ambiente (PORTER, 2006). Nesse sentido, a coevolução é uma perspectiva que analisa a inter-relação entre as práticas organizacionais (adaptação no nível das firmas) e o ambiente em que essas organizações se inserem (seleção no nível da população), sem privilegiar o fato de que o ambiente simplesmente seleciona as firmas, a despeito das práticas organizacionais, tampouco as práticas organizacionais são as únicas variáveis que geram mudanças adaptativas nas firmas ao longo do tempo, independentemente do ambiente (LEWIN; VOLBERDA, 1999).

A coevolução tem algumas vantagens na análise da interação organização-ambiente. Primeiro, não fere as premissas das teorias tradicionais, porque mantém cada uma delas dentro da sua própria arena epistemológica (PORTER, 2006). Por exemplo, para estudar a relação entre as organizações e seus ambientes, Child, Tse e Rodrigues (2013) propuseram uma interação entre a Teoria Institucional e a Seleção Natural, sendo que a primeira tem, como foco, a influência das instituições sobre as firmas e a segunda, o papel preponderante do ambiente nas características das organizações. A coevolução pode contribuir também para a solução do dilema da intencionalidade dos agentes e as regularidades sistemáticas do ambiente organizacional. McKelvey (1997) propôs uma saída para esse impasse, que ele afirmava pertencer a uma guerra paradigmática entre as ciências naturais e as ciências sociais. O autor pretendia resolver o dilema epistemológico

⁷ Em LEWIN; VOLBERDA (1999), pode-se encontrar um debate detalhado entre as teorias envolvidas nesse dilema nas áreas da sociologia, economia e estratégia.

entre os positivistas e os pós-modernistas, inserindo a microcoevolução (que operaria dentro de múltiplos níveis dentro das firmas) e a macrocoevolução (que operaria dentro das firmas e seus respectivos setores), ambas interagindo constantemente entre si (PORTER, 2006). Além disso, a coevolução também oferece uma proposta de solução ao “paradoxo da agência incorporada”, que se refere ao potencial conflito entre os agentes capazes de moldar as instituições e, ao mesmo tempo, têm suas ações, intenções e racionalidades condicionadas pela mesma instituição que desejam mudar. Com a perspectiva da coevolução, os atores, a princípio condicionados, tornam-se um mecanismo coevolucionário, interpretando eventos, adicionando significados e desenvolvendo ou propondo novos projetos no nível das firmas em que estão inseridos (PORTER, 2006).

No que diz respeito à discussão do termo para qualificar a coevolução dentro da Teoria Organizacional, percebe-se ainda divergência entre os autores. Alguns a entendem como sendo uma “perspectiva”, “abordagem” ou “investigação” (DURHAM, 1976, 1982; LEWIN; LONG; CARROLL, 1999). Também são usadas as palavras “perspectiva”, “processo”, “visão” e “abordagem” como sinônimas num único texto de Norgaard (1981), que incluiu mais tarde os termos “paradigma” e “desenvolvimento” (NORGAARD, 1984). Finalmente, parece tê-las compilado somente com o termo “visão” em 1988 (NORGAARD, 1988). Yates (1993) tratou o termo simplesmente como “desenvolvimento interativo”, distanciando-se do vínculo que essa palavra tinha com a biologia e a influência que vinha exercendo em alguns trabalhos nas Ciências Sociais⁸. Outros autores usaram o termo somente como “processo” (HAVEMAN; RAO, 1997; LEVINTHAL; MYATT, 1994; NELSON, 1994). Alguns mesclavam o termo “perspectiva” com “teoria” (DIJKSTERHUIS; VAN DEN BOSCH; VOLBERDA, 1999; KOZA; LEWIN, 1998, 1999; SAKANO; LEWIN, 1999). McKelvey (1997) tratou a coevolução como “conduta”, “lógica”, “teoria” e “processo” num único texto, incluindo mais tarde os termos “pacote”, “visão”, “abordagem”, “sistema”, “dinâmica” e “perspectiva” (MCKELVEY, 1999). Em 2002, ele resumiu o qualificativo para coevolução usando as palavras “processo”, “dinâmica” e “evento” (MCKELVEY, 2002). Van De Bosch, Volberda e De Boer (1999) chamaram coevolução de “processo”, “fenômeno”, “abordagem” e “investigação”. Termos como “perspectiva”, “lente”,

⁸ Edward Constant escreveu um artigo sobre a diversidade da coevolução de múltiplas tecnologias invocando o termo coevolução como entendido na biologia (YATES, 1993).

“abordagem”, “teoria”, “processo”, “visão”, “sistema”, “pensamento” e “fenômeno” surgiram no *Prolegomena on Coevolution* (LEWIN; VOLBERDA, 1999). Porter (2006) sugeriu que a coevolução deveria ser entendida como substantivo e como verbo. No primeiro caso, a coevolução significaria um mecanismo específico de atuação e, no segundo, uma lógica ampla. Nesse texto, ele usou os termos “fenômeno”, “abordagem”, “construto”, “conceito”, “mecanismo” e “processo”. Finalmente, Child e Rodrigues (2013) usaram os termos “teoria”, “perspectiva” e “processo”.

A Tabela 1 apresenta uma síntese cronológica da utilização desses vários termos. Nota-se que apenas 27% dos artigos analisados utilizam um único adjetivo para qualificar a coevolução ao longo dos seus textos. O restante dos artigos usa duas palavras (18% dos artigos), três palavras (23% dos artigos), quatro palavras (13% dos artigos), cinco palavras (5% dos artigos), seis palavras (5% dos artigos) e oito palavras (9% dos artigos) para qualificar o termo coevolução. Além disso, as palavras mais usadas para qualificá-lo são, na ordem, “perspectiva”, “processo”, “abordagem”, “teoria”, “visão”, “investigação”, “fenômeno” e “sistema”, representando 79% das palavras usadas nos artigos. A diversidade de adjetivos usados pelos autores e o uso, por um mesmo autor, num mesmo artigo, de termos diferentes dificulta a qualificação adequada do termo coevolução.

Tabela 1- Distribuição das palavras usadas para qualificar a coevolução

PALAVRAS QUE QUALIFICAM O TERMO COEVOLUÇÃO	Durham, 1976	Norgaard, 1981	Durham, 1982	Norgaard, 1984	Norgaard, 1988	Yates, 1993	Levinthal; Mhyatt, 1994	Nelson, 1994	Haveman; Rao, 1997	Mckelvey, 1997	Koza; Lewin, 1998	Lewin Long Carrol, 1999	Dijterhuis; V. d. Bosch; Volberda, 1999	Koza; Lewin, 1999	Sakano; Lewin, 1999	Mckelvey, 1999	V. d. Bosch; Volberda; De Boer, 1999	Anderson, 1999	Lewin; Volberda, 1999	Mckelvey, 2002	Porter, 2006	Child; Rodrigues, 2013	TOTAL DO USO DAS PALAVRAS
Perspectiva	X	X	X	X																			12
Processo		X		X			X	X	X	X							X		X	X	X	X	11
Abordagem	X	X	X									X				X	X				X		8
Teoria										X	X		X	X	X				X			X	7
Visão		X		X	X											X							5
Investigação	X		X									X					X						4
Fenômeno																	X		X	X	X		4
Sistema																X			X		X		3
Desenvolvimento				X		X																	2
Lógica										X											X		2
Dinâmica																X				X			2
Paradigma				X																			1
Conduta										X													1
Pacote																X							1
Cascata																		X					1
Pensamento																		X					1
Construto																					X		1
Conceito																					X		1
Mecanismo																					X		1
N. REPETIÇÕES POR ARTIGO	3	4	3	5	1	1	1	1	1	4	2	3	2	2	2	6	4	1	8	3	8	3	

Fonte: O autor.

Para fins desta pesquisa, utiliza-se o termo “dinâmica coevolutiva”, que engloba os mecanismos coevolutivos e seus efeitos sobre os múltiplos níveis envolvidos na coevolução. Essa dinâmica e seus mecanismos serão abordados com mais detalhes no tópico seguinte.

2.3 Dinâmica Coevolutiva

Essa seção tem dois objetivos principais: o primeiro é apresentar uma figura ampla da dinâmica coevolutiva com base em ANDERSON, 1999; CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013; LEWIN; VOLBERDA, 1999; MARUYAMA, 1963; MCKELVEY, 2002; PORTER, 2006, identificando e descrevendo seus fatores e mecanismos de atuação; o segundo é ilustrar como esses mecanismos operam e as relações existentes entre eles. Fatores são entendidos como características inerentes à dinâmica coevolutiva, e mecanismos são as características observadas nas interações entre os agentes envolvidos na dinâmica coevolutiva.

De maneira geral, a dinâmica coevolutiva pode ser compreendida a partir de alguns fatores. O primeiro deles é o evento inicial (*initiating events*) (MCKELVEY, 2002) ou pontapé inicial (*initial kick*) (MARUYAMA, 1963), afetando a inércia estrutural (*structural inertia*) que permeia a organização e seu ambiente (CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013). Para que o evento inicial ocorra, os agentes envolvidos na dinâmica coevolutiva são tensionados a manifestar seus desejos até então latentes em virtude de algum problema imposto pelo contexto. Este desejo por atenção, domínio, recursos, espaço, ideias, pessoas, etc. é chamado por Mckelvey (2002) de tensão adaptativa (*adaptive tension*). A necessidade de os agentes adaptarem-se ao ambiente para se manterem vivos ao longo do tempo são forças propulsoras que induzem à manifestação desses desejos latentes presentes nos agentes e organizações (MCKELVEY, 2002). Esse evento pode impulsionar um processo de relação causal não linear que amplifica os resultados das variáveis envolvidas nessa relação através de *feedbacks* positivos ao longo do tempo. Este fenômeno é também chamado de amplificação de desvios (*deviation-amplifying*) (MARUYAMA, 1963). No entanto, se os resultados das variáveis não são amplificados, significa que os *feedbacks* recebidos pela dinâmica causal são negativos e os resultados são amortecidos (*damping mechanisms*) (MCKELVEY, 2002). Neste caso, os desvios são contidos (*deviation-counteracting*) (MARUYAMA, 1963), e o ambiente

mantém-se restrito ao equilíbrio inicial. Esse evento não coevolutivo de autorregulação a partir de *feedbacks* negativos e que restringe os desvios já foi bem estudado nas ciências naturais, na economia e nos processos políticos (MARUYAMA, 1963). É importante observar que, em um ambiente real, existem tanto *feedbacks* positivos quanto negativos, e, em função da dinâmica, eles também podem ser convertidos um no outro, de modo que um *feedback* positivo é capaz de se tornar negativo e vice-versa. Para que o processo siga no sentido de ampliar os desvios (*deviation-amplifying*) e avançar com a dinâmica coevolutiva, é preciso que os *feedbacks* positivos se sobreponham aos negativos (MARUYAMA, 1963).

Outro fator que se observa em uma dinâmica coevolutiva é a microcoevolução ou coevolução horizontal (MCKELVEY, 2002). Nesse caso, as interações coevolutivas se dão entre os agentes dentro de cada agrupamento, sem que ainda tenha havido uma interação entre setores distintos ou a interação com o ambiente em que estes agentes estão imersos. Nessa etapa já se observam amadurecidas os mecanismos inerentes à dinâmica coevolutiva, que são mantidos ao longo do processo, tais como os efeitos não-lineares, a interdependência entre os agentes e os mecanismos de causalidade mútua (LEWIN; VOLBERDA, 1999; MARUYAMA, 1963; MCKELVEY, 2002; PORTER, 2006).

Um terceiro fator é chamado de macrocoevolução, coevolução vertical (MCKELVEY, 2002), coevolução entre os setores e seus ambientes (LEWIN; VOLBERDA, 1999) ou coevolução entre os níveis da sociedade (macro), os níveis dos setores (meso) e os níveis das organizações (micro) (CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013). Nesse ponto, é possível observar interações multiníveis e *path dependence*, ou seja, trajetórias percorridas ao longo do tempo que, mesmo eventualmente não levando aos caminhos mais adequados, têm um alto custo para serem revertidas (LEWIN; VOLBERDA, 1999). A partir dessas interações multiníveis, os agentes, as organizações e o ambiente sofrem e exercem influência, adquirem aprendizado, adaptam-se e evoluem mutuamente na medida em que recebem e dão estímulos uns aos outros (CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013).

Nota-se que consequências da dinâmica coevolutiva são imprevisíveis. Os mecanismos de amortecimento (*damping mechanisms*) (MCKELVEY, 2002)⁹ podem

⁹ McKelvey (2002) elenca 12 tipos de mecanismos de amortecimento que podem ser gerenciados. Cada um deles será discutido mais adiante.

deter o avanço da dinâmica coevolutiva para cenários catastróficos, que ultrapassam as fronteiras entre a coerência e o caos (*edge of chaos*) (PORTER, 2006). Nesse sentido, os efeitos de amortecimento levam as interações coevolutivas para um novo equilíbrio dinâmico (ANDERSON, 1999), cujo resultado pode ser a sobrevivência dos mais capazes, por meio da adaptação a uma nova realidade.

Duas observações sobre essa dinâmica coevolutiva são importantes. A primeira é que ela opera em sistemas abertos (PORTER, 2006). Somente em sistemas dessa natureza as dinâmicas coevolutivas podem ser observadas, pois essa dinâmica tem como premissa a interação com o ambiente e a possibilidade de se afastar do equilíbrio inicial, características inexistentes em sistemas fechados¹⁰ (MARUYAMA, 1963). Essa premissa leva à segunda observação, que diz respeito à imprevisibilidade dos efeitos da dinâmica coevolutiva. Diante dessa imprevisibilidade, o máximo que se pode fazer é gerenciar os mecanismos de amortecimento (*damping mechanisms*) para evitar efeitos catastróficos e tentar retornar o processo para uma nova realidade e um novo equilíbrio (MCKELVEY, 2002), que pode ser visto também como um equilíbrio dinâmico (ANDERSON, 1999).

Em relação aos mecanismos que atuam na dinâmica coevolutiva, em primeiro lugar existem as relações causais mútuas. Diferentemente da relação de causa e efeito tradicional (causas conhecidas produzem efeitos conhecidos), a relação causal mútua parte do princípio de que essa premissa nem sempre é verdadeira, pois uma interação complexa entre várias variáveis em um determinado ambiente pode gerar efeitos inesperados que, em um momento seguinte, pode afetar de volta o comportamento inicial das variáveis envolvidas (relação causal circular). No entanto, a simples presença de influência entre dois ou mais agentes não é condição suficiente para que esse mecanismo de causalidade mútua atue; a fim de que as relações causais mútuas possam ser observadas, é necessário que a intensidade da influência em uma direção tenha efeito sobre a intensidade da influência na outra direção e vice-versa (MARUYAMA, 1963).

Para ficar mais claro, segue um exemplo de relação causal mútua entre dois agentes, A e B. Não significa que a relação mútua entre A e B (por exemplo, ambos compram mercadorias um do outro) seja uma relação causal mútua. Se, eventualmente,

¹⁰ Para uma discussão entre a relação da amplificação dos desvios (*deviation-amplifying*) em sistemas abertos e a segunda lei da termodinâmica (“em sistemas fechados, o ambiente tende ao equilíbrio”), ver (MARUYAMA, 1963).

A se relaciona também com vários outros agentes, de modo que a influência da relação de A com B seja insignificante, mesmo que a relação de B com A não o seja, isso não representa uma relação causal mútua. De forma similar, mesmo que haja uma relação significativa entre A e B, mas um aumento dessa relação mútua (por exemplo, aumento bilateral de compras entre A e B) tenha sido causado por um terceiro elemento que afetou ambos (um novo agente que compre tanto de A quanto de B), isso também não representa uma relação causal mútua. No entanto, se existe uma dependência nas relações de A com B e de B com A, de modo que haja uma relação direta (ou inversa) entre eles (por exemplo, se A compra mais de B, então B também compra mais de A e vice-versa), nesse momento, portanto, está caracterizado o mecanismo de relação causal mútua (MARUYAMA, 1963).

Como essa interação geralmente ocorre entre mais de duas variáveis, a relação causal mútua pode criar uma influência circular e não linear entre elas, chamada de não linearidade. A dinâmica coevolutiva pode dar lugar a uma interação direta para além das relações entre pares, abrangendo *feedbacks* de todo o sistema envolvido (LEWIN; VOLBERDA, 1999). Trata-se de um mecanismo mais complexo, uma vez que não se modelam ambientes com essa característica a partir de simples relações causais entre caixas e setas (ANDERSON, 1999). Por exemplo, dado um ambiente com três agentes, A, B e C, se um aumento em A influencia um aumento em B e um aumento em B influencia um aumento em C que, por sua vez, influencia de volta um aumento em A, então, um aumento em A no tempo inicial influenciará mais tarde também um aumento em A (e vice-versa). Esse é um exemplo clássico de uma relação causal mútua não linear (ou circular), amplificando a influência, direta ou indireta, entre os agentes sem exigir uma relação hierárquica entre eles, pois se pode dizer o mesmo de B ou C, bastando iniciar o raciocínio por cada um deles. No entanto, se, no exemplo anterior, a relação de C com A provocasse uma redução em A, então, um aumento em A no tempo inicial geraria mais tarde uma redução em A. Nesse sentido, o desvio não está sendo amplificado, mas contido, de modo que o *feedback*, neste caso, é negativo e as relações manter-se-iam em equilíbrio estático, pois qualquer aumento em A no presente seria contido no futuro por uma redução em A (MARUYAMA, 1963).

Outro mecanismo são as relações multiníveis, que ocorrem a partir do momento em que os pequenos grupos que interagem na etapa da microcoevolução começam a interagir também com grupos de outros níveis (ou setores ou a própria sociedade), já

institucionalizados com suas próprias normas, regras e rotinas (MCKELVEY, 2002). Portanto, as relações causais mútuas e circulares operam também entre diferentes níveis, de modo que as organizações são influenciadas pelo ambiente, mas também exercem influência e o afetam, numa dinâmica causal recursiva e não linear. As relações multiníveis estão no cerne do debate entre seleção e adaptação das organizações em seus respectivos ambientes (CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013).

O último mecanismo é o de amortecimento da dinâmica coevolutiva (*damping mechanisms*), que age no sentido de conter o avanço dessa dinâmica. O momento em que os mecanismos de amortecimento serão acionados tem grande relevância, pois, se começam a atuar muito cedo, eles podem inibir o desenvolvimento da dinâmica coevolutiva e, se atrasam, podem não ser suficientes para conter o avanço, culminando, no limite, em trajetórias catastróficas. McKelvey (2002) elencou 12 diferentes mecanismos de amortecimento observados nos ambientes organizacionais e gerenciados pelas organizações. Esses diferentes tipos de mecanismos de amortecimento são descritos brevemente abaixo:

1. **Perda da Heterogeneidade dos Agentes (*Loss of Agent Heterogeneity*):** Quanto maior a quantidade de agentes conectados e quanto mais eles são diferentes entre si, maior será a sua heterogeneidade. Sua perda pode ser potencializada por: (i) pensamento de grupo, ou seja, a maioria dos agentes pensando de forma similar; (ii) ambientes que garantem a inércia organizacional a partir de sistemas fortes de comando e controle; (iii) culturas corporativas que reduzem heterogeneidade; (iv) tendências que selecionam a replicação do pensamento do líder; e (v) estilo de liderança carismática que tende a produzir homogeneidade. Resumidamente, pode-se dizer que o gerenciamento desses fatores dentro das organizações é capaz de influenciar a dinâmica coevolutiva.
2. **Perda de Laços Fracos (*Loss of Weak-Tie Fileds*):** Laços fracos podem ser entendidos como uma rede de conexão fluida e pouco conectada entre agentes heterogêneos, sem que haja uma proximidade, uma necessidade de interação, intimidade, reciprocidade ou mesmo confiança entre eles. Redes de laços fracos entre agentes promovem inovação e empreendedorismo; em oposição, laços fortes criam pensamento de grupo e homogeneidade dos agentes. Alguns

sinais de laços fracos podem ser observados quando ideias são divulgadas em rede, sem fronteiras definidas, ou quando essas ideias são abstraídas ao ponto de se tornar generalizáveis; observa-se também quando os agentes estão expostos à experiência de novas ideias, ou quando são promovidos para posições onde pouco conhecem, mantendo ativa a construção dos laços fracos. A formação de laços fortes destrói a rede de laços fracos e amortece a dinâmica coevolutiva.

3. **Falha de Capital Humano (*Failing Human Capital-Nodes*):** Capital humano são os nós que ligam as redes de conexão fortes ou fracas. As características desses nós são as próprias capacidades intelectuais e executivas do agente que representa cada nó. Uma grande rede com nós cujas capacidades são baixas (agentes pouco talentosos, por exemplo) é inferior a uma rede menor em que há uma capacidade expressiva (um agente genial, por exemplo) em um dos nós conectados na rede. Esta última rede é mais apropriada para construir inovação e avançar com a dinâmica coevolutiva se o nó altamente capaz estiver devidamente conectado na rede. Uma vez conectados, os agentes representados pelos nós são capazes de absorver capacidade da rede (*absorptive capabilities*), mas essa capacidade pode ser inibida por atitudes de resistência à mudança, por perda da capacidade de aprendizagem ou por isolamento e falhas de execução por parte do agente. Por terem mais a perder, agentes que exercem alta influência e autoridade na rede (maior nível hierárquico, por exemplo) são normalmente os principais mecanismos de amortecimento da dinâmica coevolutiva.
4. **Senescência Devido à Longevidade (*Senescence Due to Longevity*):** Longos períodos de tempo levam a um enrijecimento e a uma especialização maior das organizações e dos agentes, bem como ao surgimento de elementos sistêmicos que inibem a mudança e de fortes estruturas de comando e controle que impedem a formação de nova ordem, inovação e empreendedorismo. Quanto maior a maturidade e a estabilidade das organizações, menor sua capacidade de responder adequadamente a novas perturbações do ambiente competitivo, tornando-se, portanto, mecanismos de amortecimento que param ou retardam a dinâmica coevolutiva.

5. **Complexidade Catastrófica Crescente (*Growing Complexity Catastrophe*):** Baseado no conceito de Catástrofe da Complexidade de Kauffman (1993) oriundo da biologia, Mckelvey (2002) argumenta que esse é também um mecanismo de amortecimento da dinâmica coevolutiva. Resumidamente, sugere-se que, à medida que o número de ligações entre novos agentes aumenta, a probabilidade de respostas negativas provenientes desses novos agentes passa a dominar a rede. Analogamente, nas ciências da organização, esse mecanismo mostrou empiricamente que um nível moderado de complexidade é mais adequado para uma organização. Portanto, uma dinâmica coevolutiva que impõe mais complexidade às organizações e a seus ambientes contém um processo automático de amortecimento cada vez mais potente. Em outras palavras, se a complexidade avança mais rápido do que a capacidade da organização de se adaptar de forma eficaz, esse excesso de complexidade amortece a dinâmica coevolutiva e impede a organização de se adaptar.
6. **Perda do Movimento Pareado (*Loss of Coupled Dancing*):** Resumidamente, a perda desse movimento significa que os agentes buscam conexões com outros agentes fora das fronteiras das organizações em que estão inseridos. Nesse sentido, a rede original poderá se expor a ambientes cuja cultura local é distinta e distanciar-se do pensamento de grupo. Quanto mais agentes se integram fora das fronteiras organizacionais, mais este movimento proporciona a formação de laços fracos entre os diversos agentes e, portanto, mais favorece a dinâmica coevolutiva. É importante observar que organizações que mantêm fechado seu desenvolvimento tecnológico por meio de patentes, por exemplo, são organizações que limitam o desenvolvimento da sua taxa de adaptação ao ambiente.
7. **Separação dos Condutores de Contexto (*Separation from Contextual Drivers*):** Entende-se aqui como contexto o ambiente em que a organização está imersa com suas tensões adaptativas, tais como concorrência, novos entrantes, fornecedores, etc. Agentes também estão expostos às tensões adaptativas por meio do desejo por domínio, recursos, espaço, ideias, pessoas, etc. Separar-se dos condutores de contexto é perder contato com as tensões adaptativas impostas às organizações, ou seja, deixar de responder com

sucesso às tensões impostas pelo ambiente ou criadas pela própria organização. Agentes podem gerenciar as tensões internas nas organizações por meio da confrontação entre funcionários ou em virtude de fortes estruturas de comando e controle. No entanto, um excesso de tensões internas criadas pelos próprios agentes não impulsiona as organizações para uma adaptação eficaz e pode ter um efeito reverso de aumento da resistência à mudança.

8. **Desconexão com a Tensão Adaptativa e os Valores Críticos (*Disconnection from Adaptive Tension and Critical Values*):** Valores críticos são limiares a partir dos quais uma organização transita de uma fase a outra por meio de uma tensão adaptativa capaz de oferecer à organização uma transição de fase. No entanto, se houver dinâmicas coevolucionárias desconectadas das tensões adaptativas ou mesmo rebeliões contra essas tensões, essas dinâmicas podem estar consumindo energia dos agentes sem que leve a organização e o ambiente a um novo patamar. Portanto, as tensões adaptativas conduzem a coevolução para uma direção adaptativa eficaz e amortecem as dinâmicas coevolutivas não adaptativas.
9. **Laços Fracos Corrompidos (*Corrupted Weak-Tie Fileds*):** Em sistemas sociais, a dinâmica coevolutiva deixa rastros (*path dependence*) que impedem as organizações e o ambiente de simplesmente voltarem ao estágio inicial sem nenhuma consequência. E, à medida que a dinâmica avança, mais eventos se tornam rigidamente *path dependent*, maior é a tendência dos agentes se replicarem e mais corrompidos ficam os laços fracos da rede. Alianças estratégicas, reinvenção constante, fusão e aquisição e troca generalizada de comando são alternativas que inundam as organizações de conexões de laços fracos e mitigam o amortecimento da dinâmica coevolutiva.
10. **Efeito do Sapo Fervido (*Boiled Frog Effects*):** A metáfora do sapo fervido usada por Mckelvey (2002) questiona a sensibilidade dos agentes e das organizações para o que ocorre ao seu redor. Segundo o autor, agentes e organizações com essa característica não são capazes de observar sua própria degradação ao longo do tempo e não respondem às tensões adaptativas impostas pelo ambiente. Nestes casos, atitudes no sentido de tornar os

impulsionadores da tensão adaptativa mais pontuais, direcionados, fortes, óbvios e diretos são eficazes para mitigar o efeito do sapo fervido.

11. **Micro-defesas Auto-organizadas contra a Coevolução (*Self-Organized Micro Defenses Against Coevolution*):** A própria coevolução pode ser um mecanismo de amortecimento, e nem sempre sua dinâmica leva para um caminho que seja melhor para a organização e o ambiente. Nestes casos, a coevolução pode surgir para combater novas ideias e evitar que a organização se adapte ao ambiente. Para evitar este fenômeno, os agentes precisam conhecer quais tensões adaptativas estão sendo impostas pelo ambiente para poder encorajar algumas e interromper outras. Essa interpretação correta das tensões adaptativas é chamada de micro-defesa auto-organizada.

12. **Macro Coevolução Dirigida por Micro-defesas (*Coevolution of Macro Driven Micro Defenses*):** A dinâmica coevolutiva também ocorre entre diferentes organizações, e isso é chamado por McKelvey (2002) de macro coevolução. As taxas de coevolução alcançadas por cada dinâmica envolvida no processo são decisivas para garantir que os mecanismos de amortecimento provenientes das micro-defesas possam atuar. Taxas muito diferentes entre si podem causar efeitos catastróficos na rede. Nesse sentido, para evitar grandes disparidades entre as taxas, pode-se optar pela verticalização para manter as diversas organizações envolvidas sob uma mesma gestão, facilitando seu gerenciamento.

Em suma, a coevolução pode gerar resultados em que os agentes se desenvolvem com o tempo (coevolução entre a taxa de mutação e o ambiente, coevolução supernormal, coevolução simbiótica), se mantêm em equilíbrio em razão da competição entre os atores ao longo do tempo (coevolução entre a presa e o predador), ou se isolam e restringem seu desenvolvimento com o tempo (endogamia e tamanho da população). Os efeitos da dinâmica coevolutiva são imprevisíveis, no entanto, existem mecanismos de amortecimento capazes de auxiliar os agentes a controlá-la (MCKELVEY, 2002).

2.4 Coevolução entre os níveis meso (setorial) e macro (ambiente econômico)

Esta seção discute a coevolução entre setores e ambientes econômicos. Inicialmente, apresentam-se duas características comuns aos estudos coevolutivos analisados. Em seguida, discutem-se as principais contribuições desses estudos para compreender a dinâmica envolvida entre setores e ambientes econômicos. Finalmente, apontam-se lacunas encontradas nos estudos coevolutivos considerados.

Do ponto de vista metodológico, os estudos que tratam da coevolução entre os níveis meso (setorial) e macro (ambiente – institucional e/ou econômico) têm duas características comuns: o método de estudo de casos e o caráter longitudinal. Dos artigos analisados, Burin, Gohr e Santos (2012) estudaram o setor sucroalcooleiro no Brasil e o contexto macroambiental, apresentando uma interpretação qualitativa da coevolução de nove variáveis (quatro do macroambiente e cinco do setor) pelo período de dez anos. Gohr e Santos (2013) avaliaram o setor elétrico brasileiro e o sistema institucional ao longo de um período de 14 anos. Pacheco, York e Hargrave (2014) correlacionam variáveis da indústria, movimentos sociais e instituições durante nove anos, elaborando hipóteses a partir da mescla de métodos quantitativos (Método dos Mínimos Quadrados) com análise documental e entrevistas. Quitzow (2015) analisou a dinâmica coevolutiva entre sistemas de inovação tecnológica e o setor solar fotovoltaico na China e Alemanha ao longo de 12 anos. Watanabe, Naveed e Neittaanmäki (2016) utilizaram os mecanismos da coevolução para avaliar a revolução do Uber no mundo juntamente ao avanço das tecnologias digitais durante um período de seis anos. Xin e Mossig (2017) analisam como a indústria cinematográfica chinesa e as instituições e a cultura daquele país coevoluíram ao longo de um período de 120 anos. Duarte e Rodrigues (2017) estudaram a interação entre o setor automobilístico brasileiro e as políticas governamentais ao longo de 50 anos. Finalmente, Abatecola, Mari e Poggesi (2020) observaram, sob um enfoque coevolutivo, as relações das parcerias público-privadas (meso e macro) na Itália por um período de 37 anos, usando a construção de um estádio de futebol como objeto de pesquisa.

Esses artigos investigam os mecanismos que explicam a dinâmica coevolutiva entre setores e ambientes institucionais e/ou econômicos (BELMIRO BURIN; FABIANA GOHR; COSTA SANTOS, 2012; DUARTE; RODRIGUES, 2017; GOHR;

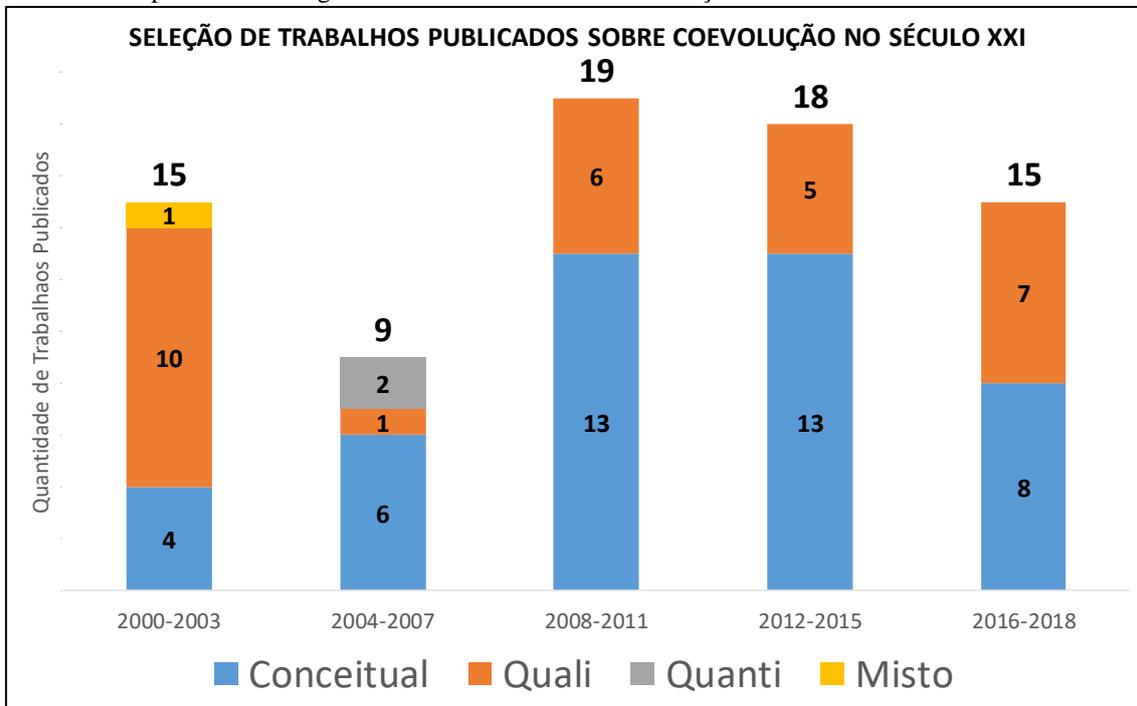
SANTOS, 2013; QUITZOW, 2015; XIN; MOSSIG, 2017); a influência de processos de variação, seleção e retenção entre setor e ambientes inter-relacionados e os mecanismos causais que orientam a coevolução (MURMANN, 2013); a construção de modelos econométricos conceituais da dinâmica coevolutiva (FATAS-VILLAFRANCA; SANCHEZ-CHOLIZ; JARNE, 2008; WARING; GOFF; SMALDINO, 2017); e a análise da inter-relação mútua entre as mudanças institucionais e as indústrias emergentes ao longo do tempo (PACHECO; YORK; HARGRAVE, 2014).

Esses estudos buscam evidenciar as propriedades da coevolução a partir da interpretação qualitativa das informações obtidas pelos dados primários e secundários. Por exemplo, Burin, Gohr e Santos (2012) elaboraram um quadro de relações entre as variáveis do setor sucroalcooleiro e o macroambiente institucional brasileiro, tendo como base um levantamento histórico das variáveis envolvidas, relacionando-as com as propriedades da coevolução, a partir de premissas conceituais de teorias organizacionais (Teoria Institucional, Teoria da Contingência e Ecologia das Populações). Estudando o setor elétrico brasileiro, Gohr e Santos (2013) evidenciaram causalidades multidirecionais, *feedback* positivo e não linearidade com base em análise documental histórica do setor e do ambiente, traçando as relações causais entre as variáveis, a partir da interpretação qualitativa dos documentos. Murmann (2013) propôs um *template* para investigar a dinâmica coevolutiva entre indústrias e o ambiente institucional, tendo como base a análise dos fatos históricos, a partir de dados primários e secundários. Outros autores também abordaram qualitativamente a dinâmica da coevolução entre setores econômicos e ambientes institucionais, igualmente partindo da análise interpretativa dos dados primários e secundários (DUARTE; RODRIGUES, 2017; QUITZOW, 2015; XIN; MOSSIG, 2017).

Observa-se que há uma preponderância de trabalhos qualitativos para a análise da coevolução na área dos estudos organizacionais. Dos 76 trabalhos selecionados por Abatecola, Breslin e Kask (2020), apenas 4% são quantitativos ou com metodologia mista. O restante se divide em 58% de caráter conceitual, e 38% seguem uma metodologia qualitativa. No Gráfico 6 abaixo, pode-se ver o avanço dos trabalhos em coevolução com base na seleção de Abatecola, Breslin e Kask (2020). Neste gráfico, percebe-se que existe um avanço de trabalhos conceituais em detrimento de uma redução dos trabalhos com metodologia qualitativa. No entanto, esta metodologia ainda é preponderante nos estudos

sobre coevolução, pois, conforme a seleção dos autores, somente entre os anos 2000 e 2007 foram publicados trabalhos cuja metodologia era quantitativa ou mista.

Gráfico 6 - Tipo de metodologia usada em estudos sobre coevolução no século XXI



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABATECOLA; BRESLIN; KASK, 2020.

2.5 Teoria de Redes

Esta seção, em princípio, fará um breve resumo sobre o avanço da teoria de redes no mundo e, adiante, concentrar-se-á na explicação da medida de dissimilaridade D , que vincula a teoria de redes e a análise da dinâmica coevolutiva.

A base matemática por trás da teoria de redes é a teoria dos grafos, proposta pelo matemático Leonard Euler em 1735 para solucionar um enigma em Königsberg, capital da Prússia oriental e grande centro comercial da época, que ficou conhecido como “As sete pontes de Königsberg”¹¹ (BARABASI, 2016).

Em 1934, Jacob Moreno usou o mesmo conceito da teoria dos grafos para analisar a posição social dos indivíduos e sua influência nas redes sociais que estão inseridos, tornando-se pioneiro no campo da sociometria (FREEMAN, 1996; MORENO, 1934). Em 1967, Stanley Milgran propõe o experimento conhecido como *Small World*

¹¹ Explicações detalhadas deste enigma podem ser encontradas em BARABASI (2016).

Network, que observava o comprimento médio do caminho de redes sociais de pessoas nos EUA. Concluiu, com esse experimento, que dois estranhos, independentemente de onde se encontravam no país, poderiam se conhecer a partir de seis pessoas na rede, no máximo (MILGRAN, 1967).

Nos dias de hoje, a teoria de redes é uma útil ferramenta para diversos campos da ciência, tais como física, sociologia, biologia, matemática, economia, medicina, administração, entre outros. Essa flexibilidade de atuação em várias disciplinas diferentes foi uma propulsão para o crescimento da sua aplicação no século XXI (BARABASI, 2016).

2.5.1 Medidas de Dissimilaridade em Redes e Dinâmicas Coevolutivas

Medidas para quantificar dissimilaridades e identificar isomorfismos entre diferentes redes são problemas antigos e parcialmente resolvidos a partir de meados de 1970 com o crescimento da ciência da computação e o desenvolvimento da Teoria da Complexidade. Algumas das medidas mais populares para identificação de isomorfismos¹² são a de Hamming (H) e a GED (*Graph Edit Distance*). No entanto, a maioria dos métodos de comparação entre redes mostram-se eficientes apenas em casos específicos, proporcionando frequentemente informações limitadas, incompletas e subestimadas das diferenças estruturais de uma rede, uma vez que descrevem parcialmente as propriedades dos grafos. Uma adequada medida de dissimilaridade precisa ter a capacidade de reconhecer diferenças topológicas entre as redes, distinguindo os diferentes papéis dos links e nós (SCHIEBER *et al.*, 2017).

Os benefícios de conhecer as medidas de dissimilaridade entre redes têm aplicação prática nas ciências sociais, na medicina, na biologia, na física, etc, pois proporcionam análises das propriedades e topologias similares das redes e quantificam sua evolução temporal. No intuito de capturar diferenças topológicas entre redes não captadas pelos métodos tradicionais, SCHIEBER *et al.* (2017) propuseram uma medida de dissimilaridade (D) associando, para cada estrutura da rede, um conjunto de funções de distribuição de probabilidades (PDF, em inglês), representando as distâncias de

¹² Isomorfismo, neste contexto, é entendido como redes ou nós de uma rede que tenham características similares em relação a medidas de centralidade e dispersão.

conectividade entre todos os nós da rede e comparando-os em seguida através de métricas padronizadas da Teoria da Informação. Dessa forma, os elementos dos vetores associados à rede deixam de ser números e passam a ser funções de distribuição de probabilidades (PDF). O método usado para medir a similaridade entre estas distribuições de probabilidades é a Divergência de Jensen-Shanon.

A Medida D é baseada em três vetores PDFs fundamentados nas distâncias que capturam dissimilaridades globais e locais entre as redes e é definida como uma função de três termos, que compara divergências topológicas entre redes. Abaixo, estão apresentados os três termos da equação, em que $D(G,G')$ é a Medida D; G e G' são as redes analisadas; e w_1 , w_2 e w_3 são pesos atribuídos arbitrariamente, cujo somatório é igual a 1. A configuração ótima de w_1 , w_2 e w_3 para quantificar dissimilaridades estruturais é 0,45; 0,45; e 0,1; respectivamente (Schieber *et al.*, 2016).

$$D(G, G') = w_1 \sqrt{\frac{\mathcal{J}(\mu_G, \mu_{G'})}{\log 2}} + w_2 \left| \sqrt{\text{NND}(G)} - \sqrt{\text{NND}(G')} \right| + \frac{w_3}{2} \left(\sqrt{\frac{\mathcal{J}(P_{xG}, P_{xG'})}{\log 2}} + \sqrt{\frac{\mathcal{J}(P_{xG^c}, P_{xG'^c})}{\log 2}} \right)$$

Matematicamente, o primeiro termo representa a similaridade normalizada entre as distribuições de probabilidade da rede G e G', medidas pelo método de Divergência de Jensen-Shanon. De um ponto de vista prático, este termo captura diferenças topológicas globais a partir das distribuições de distância entre as duas redes e compara a conectividade média entre nós. Quanto mais próxima a distribuição da distância entre G e G', mais próximos também serão o diâmetro das duas redes e seu comprimento médio do caminho entre nós, além de outros recursos de conectividade (SCHIEBER *et al.*, 2017).

O segundo termo mensura a diversidade das distâncias entre nós (heterogeneidade) a partir de uma medida chamada NND (Dispersão dos Nós da Rede) para a rede G e G'. Esta medida é também computada a partir da Divergência de Jensen-Shanon e é capaz de capturar recursos relevantes de uma rede para poder compará-las. Concretamente, este termo compara a conectividade de cada nó e como cada elemento é conectado ao longo da rede, a partir da observação das distribuições de distância dos nós. Redes que tenham NND similares são aquelas que têm o mesmo perfil de distância de conectividade (SCHIEBER *et al.*, 2017).

O último termo mede a similaridade normalizada das distribuições de probabilidade (pelo método de Divergência de Jensen-Shanon) da centralidade de cada nó na rede (através da medida de alfa-centralidade). Isto também é feito para o complemento de G e G' (G_c e G_c'), a fim de medir também o efeito de nós desconectados. Este termo também pode ser interpretado como sendo capaz de avaliar a centralidade de cada nó na rede e é o único capaz de discriminar entre grafos completos de diferentes tamanhos e entre outras estruturas de distância regular (SCHIEBER *et al.*, 2017).

Em resumo, a Medida D identifica e quantifica diferenças topológicas estruturais que afetam o fluxo de informação através de redes. Quanto mais próximo de zero é a medida D entre dois nós em uma rede, mais similares serão as suas distâncias em relação à rede como um todo, menos dispersos estes dois nós estarão entre si, além do fato de que suas centralidades na rede serão mais similares.

Essa Medida foi proposta em 2017 na revista *Nature* e, desde então, tem sido utilizada por outros artigos de diversos campos de atuação, desde a área de materiais, psicologia, clima, química, física, inteligência artificial, neurologia, entre outras.

No que se refere à dinâmica coevolutiva, os agentes devem ser heterogêneos, adaptativos, conectados, interativos e mutuamente influenciáveis. Agentes são termos gerais que podem significar átomos, moléculas, organismos, indivíduos ou mesmo indicadores que representam processos organizacionais, institucionais, econômicos, setoriais, etc. Além disso, é também necessário que haja eventos iniciais que inaugurem a dinâmica coevolutiva e haja também restrições do ambiente que amortecem a dinâmica, tais como tecnologia, mercado, concorrente, fornecedores, etc. A dinâmica coevolutiva pode ocorrer em um único nível (só entre agentes, por exemplo), chamada de coevolução horizontal, ou pode ocorrer também em multiníveis (entre setores e ambiente, por exemplo), chamada de coevolução vertical. A presença de laços fortes entre os agentes significa que a rede é menos heterogênea e, por consequência, amortece o avanço da dinâmica coevolutiva entre os agentes. Por outro lado, os laços fracos promovem heterogeneidade na rede e impulsionam a coevolução (MCKELVEY, 2002).

Portanto, o elo que esta dissertação defende para vincular a dinâmica coevolutiva com a Medida D está no fato de que esta medida é capaz de captar as interações não lineares (SCHIEBER *et al.*, 2017) presentes na dinâmica coevolutiva. Destaca-se,

igualmente, o fato de a medida ser capaz de gerar dados com precisão maior que as medidas tradicionais que representam os laços fortes (maior proximidade) e os laços fracos (maior distanciamento) na rede, em que os primeiros tendem a ser os laços que amortecem a dinâmica coevolutiva e os segundos tendem a ser os laços que a impulsionam (ANDERSON, 1999; CHILD; TSE; RODRIGUES, 2013; LEWIN; VOLBERDA, 1999; MARUYAMA, 1963; MCKELVEY, 2002; PORTER, 2006).

Finalmente, uma vez apresentada a medida D, as propriedades e os tipos de coevolução, além dos mecanismos de amortecimento da dinâmica coevolutiva, da próxima seção em diante, serão apresentadas a metodologia da pesquisa bem como a análise, discussão e a conclusão do estudo.

3 METODOLOGIA

Este capítulo divide-se em três tópicos, a saber: (i) pressupostos metodológicos e teóricos da pesquisa; (ii) descrição do processo de coleta de dados, ou seja, a organização do banco de dados: variáveis selecionadas e como cada uma delas se relaciona com a ferrovia brasileira e o ambiente econômico; e (iii) descrição do tratamento e da análise dos dados: modelagem da rede e a aplicação da medida de similaridade.

3.1. Pressupostos Metodológicos e Teóricos da Pesquisa

Em relação aos pressupostos metodológicos da pesquisa, o principal objetivo é avaliar e analisar a dinâmica coevolutiva, usando uma abordagem quantitativa, entre o setor ferroviário e o ambiente econômico brasileiro entre 1998 e 2021, a partir de dados setoriais e macroeconômicos. Nesse sentido, esta pesquisa tem um foco descritivo-explicativo, fazendo inferências, com base em interações e resultados gerados pelo método usado.

Para analisar essa dinâmica, utiliza-se a teoria de redes. De maneira mais específica, a pesquisa empírica apoia-se em três conceitos principais: a Medida D, uma medida de dispersão de rede proposta por SCHIEBER *et al.* (2017); as propriedades da coevolução elencadas por LEWIN e VOLBERDA (1999); e os mecanismos de amortecimento propostos por MCKELVEY (2002).

Argumenta-se que a medida de dissimilaridade (Medida D) pode explicar a dinâmica coevolutiva em virtude da proximidade ou distanciamento dos laços entre os nós da rede. A Medida D mede a interação entre dois nós na rede, e, quanto mais próximo de zero está essa medida, maior similaridade existe entre estes nós. No caso desta pesquisa, *nós* são as variáveis selecionadas tanto do setor ferroviário quanto do ambiente econômico, conforme pode ser visto na Tabela 3; *similaridade* significa que as suas distâncias em relação à rede como um todo são parecidas, que a dispersão entre elas é baixa (baixa heterogeneidade) e que a centralidade dessas variáveis na rede (medida pelo alfa-centralidade) também é semelhante. Essa medida é capaz de capturar interações não lineares entre as variáveis, que os métodos de regressão tradicionais não conseguem. Um valor de D exatamente igual a zero representa a mesma distribuição de distância entre os nós, o mesmo NND (dispersão dos nós) e o mesmo vetor de alfa-centralidade

(SCHIEBER *et al.*, 2017). Um laço fraco impulsiona a dinâmica coevolutiva na rede, e um laço forte a amortece (MCKELVEY, 2002).

3.2 Organização do Banco de Dados

Nesta seção, apresentam-se as variáveis selecionadas para compor o modelo da rede e como cada uma delas se relaciona com o setor ferroviário e o ambiente econômico brasileiro, considerados aqui como níveis distintos. Justifica-se ainda o uso de cada uma das variáveis, o que cada uma representa e quais foram as fontes desses dados. Por último, apresenta-se o banco de dados, base para a aplicação das medidas de similaridade da rede.

A Tabela 2 abaixo apresenta as variáveis selecionadas e as razões de sua escolha. No total, foram selecionadas 21 variáveis, sendo que 4 delas têm relação mais direta com o setor ferroviário e o restante são variáveis relacionadas ao ambiente econômico que interagem com a ferrovia no Brasil.

Tabela 2 - Variáveis do Banco de Dados e Justificativas

Nome Original da Variável	Nome Reduzido	Unidade de Medida	Nível	Razões da Escolha
Participação da Ferrovia na Matriz de Transporte	Part_Ferr	%	Ferrovia	Indicador que afere a presença da ferrovia na matriz de transporte brasileira
Produção de Vagos de Carga e Locomotivas	Prod_Vg	Unid.	Ferrovia	Indicador que representa toda a indústria ferroviária
Transporte de Minerio por Ferrovia	Transp_Min_Trem	M-ton	Ferrovia	Transporte do principal produto transportado por ferrovias
Transporte de Carga Geral por Ferrovia	Transp_CG_Trem	M-ton	Ferrovia	Transporte do restante de produtos transportado por trens, liderado pelos grãos
Investimentos na Ferrovia pelas Concessionárias	Inv_Ferrovia	R\$Bi	Ferrovia	Fluxos de Capital (CAPEX) direcionados para a ferrovia
Produção de Caminhões	Prod_Caminhao	K-Unid.	Econômico	Concorrente da ferrovia
Investimentos no Setor de Autopeças	Inv_Autopc	USDMM	Econômico	Fluxos de capital (CAPEX) que podem concorrer com os fluxos de capital direcionados à ferrovia
Faturamento de Veículos Automotores e Máquinas Agrícolas	Fat_Veic_Auto	USDMM	Econômico	Fluxos de compra (OPEX) que podem concorrer com os fluxos de compra direcionados à ferrovia
Volume Transportado nas Rodovias	Vol_Rod	ABCR	Econômico	Concorrente da ferrovia
Resultado Financeiro da Vale	Res_Vale	Lucro Liq	Econômico	Indicador que afere o resultado da maior empresa de mineração brasileira (principal produto do transporte por ferrovia)
Resultado Financeiro da MRS	Res_MRS	Lucro Liq	Econômico	Indicador que afere o resultado da maior empresa que mais transporta minério por ferrovia (principal produto do transporte por ferrovia)
Volume Transportado nos Portos Brasileiros	Vol_Porto	MMT	Econômico	Principal destino do transporte por ferrovias
Produção Agrícola	Prod_Agric	M-ton	Econômico	Segundo maior produto transportado por ferrovias
Produção de Minerio de Ferro	Prod_Min	M-ton	Econômico	Primeiro produto transportado por ferrovias
Varição do PIB	Var_PIB	%	Econômico	Indicador que afere o comportamento da atividade econômica
Taxa de Câmbio	Tx_Cambio	R\$/USD	Econômico	Indicador que afere o preço da moeda brasileira em relação ao dólar
Taxa Selic	Tx_Selic	%	Econômico	Indicador que afere o custo do capital
Preço da Soja (NY Futuros)	Preco_Soja	USD	Econômico	Preço do segundo maior produto transportado por ferrovias
Preço do Minerio de Ferro (China Import Iron Ore Fines 62% FE Spot CFR Tianjin Port)	Preco_Min	USD	Econômico	Preço do produto mais transportado nas ferrovias
Participação do Agronegócio no PIB Brasil	Agro_PIB	%	Econômico	Parte do PIB que representa o segundo maior produto transportado nas ferrovias
Participação da Mineração no PIB Brasil	Min_PIB	%	Econômico	Parte do PIB que representa o produto mais transportado nas ferrovias

Fonte: O Autor

Os dados para formar as séries históricas do faturamento de veículos automotores, investimentos no setor de autopeças e produção de caminhões foram coletados do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira produzido pela Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). Esta associação conta com 27 associadas, que compõem o quadro das principais fabricantes de automóveis, *pick-ups*, caminhões e ônibus, com 57 unidades industriais distribuídas em todo o território nacional (ANUÁRIO ANFAVEA, 2022). Para coletar os dados do volume de carga transportada por caminhões nas rodovias, foi usado o índice ABCR, que mede o fluxo pedagiado de veículos pesados nas estradas, construído pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias e incorporado ao cálculo do PIB brasileiro pelo IBGE a partir de 2012 (<https://abcr.org.br/indice/historico-do-indice>). A coleta dos resultados financeiros da Vale (vale.com/brasil/pt/business/reports) e os resultados financeiros da MRS (ri.mrs.com.br) foram retirados dos *sites* das respectivas empresas e representam seus lucros líquidos no período. Optou-se pelo lucro líquido por se tratar de uma métrica mais padronizada e encontrada nos balanços financeiros das empresas de forma mais direta desde a década de 90. O motivo de incluir essas duas empresas está relacionado ao fato de que ambas lidaram diretamente com o transporte do principal produto da ferrovia (Minério de Ferro) no Brasil neste período.

O faturamento de veículos automotores inclui toda a indústria automobilística, considerando veículos, *pick-ups*, caminhões e ônibus de todas as empresas associadas à Anfavea (ANUÁRIO ANFAVEA, 2022, p. 32). O investimento no setor de autopeças contempla investimentos de mais de 600 empresas de porte pequeno, médio e grande direcionados a máquinas e equipamentos, outros tipos de ativos fixos, PD&I e outros investimentos (ANUÁRIO ANFAVEA, 2022, 2015). Essas duas variáveis têm como objetivo captar o comportamento do setor rodoviário como um todo e da sua cadeia de suprimentos, não se restringindo apenas ao transporte de cargas.

A produção de caminhões (ANFAVEA, 2022, p. 46) e o volume de carga transportado por caminhões (<https://abcr.org.br/indice/historico-do-indice>) restringem-se à produção de caminhões no Brasil e ao transporte de carga em território nacional (considerou-se apenas o fluxo de veículos pesados), respectivamente, excluindo automóveis, comerciais leves e ônibus. A razão disso é tentar captar mais diretamente alguma interação específica entre o setor ferroviário e o transporte de carga por caminhões.

Selecionou-se também o volume transportado nos portos brasileiros, que representa toda a produção que passou pelos portos no Brasil durante o período analisado. Essa variável foi selecionada tendo em vista o caráter exportador dos produtos transportados por ferrovia no Brasil (em sua maioria, grãos e minério de ferro), sendo, portanto, tratada como uma hipótese plausível de interação com o setor ferroviário. Esses dados foram coletados do Anuário Estatístico Aquaviário produzido pela ANTAQ, agência reguladora do transporte marítimo no Brasil (<http://anuario.antaq.gov.br>).

A produção agrícola e a de minério foram coletadas do Anuário Estatístico dos Transportes e do Anuário Mineral Brasileiro (MINFRA, 2020; ANUARIO MINERAL BRASILEIRO, 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010). Ambas foram selecionadas por se tratarem do primeiro e segundo produtos mais transportados por ferrovia.

Para coletar os dados da participação da ferrovia na matriz de transporte, foram usados dados do Anuário Estatístico dos Transportes (ANTT, 2020), do Plano Nacional de Logística do MINFRA (PNL, 2021) e da Associação Nacional do Transporte Ferroviário (ANTF) (antf.org.br/informacoes-gerais). A coleta da produção de vagões e locomotivas foi retirada do site da ABIFER (abifer.org.br/dados-setoriais/estatisticas-de-producao), os dados do transporte de minério por ferrovia e o transporte de carga geral por ferrovia foram retirados do Anuário do Setor Ferroviário produzido pela ANTT (<https://portal.antt.gov.br/anuario-do-setor-ferroviario>), e os dados dos investimentos na ferrovia foram coletados do *site* da ANTF (antf.org.br/informacoes-gerais).

As variáveis do setor ferroviário foram selecionadas com o intuito de conter dados sobre a evolução do transporte por ferrovia, dos investimentos feitos nos últimos 23 anos e de como o setor avançou na matriz de transporte ao longo do tempo. Utilizar, por exemplo, a produção de vagões e locomotivas no Brasil significa evidenciar como a indústria ferroviária como um todo se comportou nesse período, uma vez que a produção desses ativos está na ponta final de uma indústria de componentes especializados (rolamentos, rodas, eixos, freios, truques, molas, etc), que engloba forjarias, fundições, caldeirarias, entre outras empresas. Esta variável influencia também a fabricação de chapas grossas de aço dentro das siderúrgicas, o desenvolvimento de tecnologia para aportar nos vagões, locomotivas e linhas férreas, o desenvolvimento de revestimento de

superfícies, o comportamento da indústria de manutenção destes ativos, entre outros (abifer.org.br).

Já o transporte de minério e carga geral por via férrea foi incluído em função da sua forte relação com o transporte ferroviário no Brasil ao longo de todo o período analisado. Oitenta e um por cento de todo o minério extraído das minas brasileiras entre 1998 e 2021 foram levados aos portos ou às siderúrgicas por via férrea. Além disso, o minério de ferro sempre esteve entre 60% e 70% do volume total transportado nas ferrovias, sendo o restante considerado no banco de dados como carga geral, concentrando principalmente o transporte de grãos, celulose, combustíveis e contêineres (ANTT, 2022).

Os investimentos em ferrovias são informações da ANTF, que representa as operadoras ferroviárias responsáveis pelo transporte de carga nas 13 malhas concedidas à iniciativa privada. Os dados sobre os investimentos feitos pelas concessionárias em material rodante e na via permanente englobam melhoria e recuperação da malha ferroviária, compra e reforma de vagões e locomotivas, aquisição de novas tecnologias, capacitação profissional, qualificação das operações, entre outros (antf.org.br/releases/investimentos-ultrapassam-113-bi).

No que se refere ao ambiente econômico, o intuito foi coletar dados macroeconômicos brasileiros (variação do PIB Brasil, taxa Selic e taxa de câmbio), preços dos principais produtos transportados por via férrea (preço do minério e preço da soja) e a representatividade no PIB dos setores de mineração e agrícola (participação do agronegócio no PIB Brasil e participação da mineração no PIB Brasil).

As variáveis macroeconômicas foram coletadas do site do Banco Central do Brasil (bcb.gov.br). Os preços de minério e soja foram coletados do *site Investing* (investing.com). A participação do agronegócio no PIB Brasil foi coletada da USP (cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx), e a participação da mineração no PIB Brasil foi coletada do Ministério de Minas e Energia (antigo.mme.gov.br/documents/36108/1006289/Boletim+do+Setor+Mineral).

3.2.1 Banco de Dados Gerado

Abaixo, a Tabela 3 resume todos os dados coletados para cada uma das variáveis ao longo dos 23 anos analisados. As colunas em amarelo representam dados ausentes, que foram mantidos em branco dentro do modelo, pois optou-se por não os tratar para evitar números que não fossem absolutamente reais.

Para todos os dados disponíveis mensalmente ou trimestralmente que não se acumulam no fim do ano (taxa de juros, taxa Selic, preço da soja e preço do minério), foi considerado o valor de dezembro de cada ano, sem levar em conta o comportamento destas variáveis ao longo do ano. Para os valores relacionados à moeda, seja em R\$ ou US\$, os números estão atualizados em valores de 2021, conforme indicava nos *sites* dos quais os valores foram retirados.

Tabela 3 - Banco de Dados Original

Nome	Nome Modelo	Unid.	Nível	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Produção de Caminhões	Prod_Caminhao	K-Unid.	Rodoviário	63	55	70	77	68	78	105	113	103	134	164	121	190	224	133	187	139	75	61	83	97	112	91	159
Investimentos no Setor de Autopeças	Inv_Autopc	USDMM	Rodoviário	1.580	1.020	1.100	798	260	532	843	1.413	1.300	1.385	2.104	631	2.156	2.418	1.891	1.929	1.022	570	450	546	355	285	125	177
Faturamento Veículos Automotores e Máquinas Agrícolas	Fat_Veic_Auto	USDMM	Rodoviário	27.549	16.365	20.071	17.711	15.721	18.086	26.168	34.182	41.128	58.201	73.519	68.319	92.502	105.401	93.929	98.881	84.901	50.794	46.934	59.247	61.853	59.202	24.318	30.909
Volume Transportado nas Rodovias	Vol_Rod	ABCR	Rodoviário		112	110	108	111	113	117	119	123	129	134	142	154	158	163	170	175	168	165	169	170	172	164	171
Participação da Ferrovia na Matriz de Transporte	Part_Ferr	%	Ferrovário	18,5%	18,3%	18,8%	19,1%	19,3%	20,3%	21,6%	22,6%	22,8%	22,8%	22,3%	21,3%	19,3%	17,9%	16,6%	15,9%	15,5%	15,1%	16,0%	17,8%	16,3%	14,8%	21,5%	
Produção de Vagões de Carga e Locomotivas	Prod_Vg	Unid.	Ferrovário	878	1304	1284	752	299	2399	4740	7603	3682	1357	5148	1044	3329	5729	2988	2363	4783	4812	4012	2959	2630	1040	1701	2561
Transporte de Minério por Ferrovia	Transp_Min_Trem	M-ton	Ferrovário	185	183,1	207	199,9	217,8	237	266,5	269	282	307	316	278	325	343	343	341	357	379	398	416	441	363	355	367
Transporte de Carga Geral por Ferrovia	Transp_CG_Trem	M-ton	Ferrovário	74	73	81	92	98	99	102	117	101	107	110	101	125	111	110	109	109	114	108	124	130	132	134	142
Investimento Ferrovário das Concessionárias	Inv_Ferrovia	R\$Bi	Ferrovário	0,50	0,58	0,62	0,81	0,72	1,13	1,96	3,11	1,80	2,02	3,36	1,90	3,23	4,93	3,87	3,67	5,58	6,85	5,67	5,11	4,16	3,65	4,80	
Resultado Financeiro da Vale	Res_Vale	Lucro Liq	Ferrovário	19,98%	17,47%	23,57%	27,70%	13,38%	22,02%	22,26%	29,54%	28,73%	30,14%	29,24%	21,66%	36,82%	36,24%	10,29%	-0,25%	0,25%	-58,93%	14,05%	16,28%	19,17%	-5,85%	11,94%	44,56%
Resultado Financeiro da MRS	Res_MRS	Lucro Liq	Ferrovário	-7,85%	-5,19%	-23,46%	-111,16%	-38,26%	29,30%	13,71%	20,53%	21,81%	23,79%	19,50%	23,27%	19,53%	18,20%	14,71%	15,43%	12,37%	9,33%	12,75%	13,20%	14,01%	15,71%	8,76%	23,31%
Volume Transportado nos Portos do Brasil	Vol_Porto	MMt	Econômico	443	435,7	485	506	529	571	611	636	706	755	768	732	697	737	751	772	804	837	840	905	926	920	958	1012
Varição do PIB Brasil	Var_PIB	%	Econômico	0,3%	0,5%	4,4%	1,4%	3,1%	1,1%	5,8%	3,2%	4,0%	6,1%	5,1%	-0,1%	7,5%	4,0%	1,9%	3,0%	0,5%	-3,6%	-3,3%	1,1%	1,1%	1,1%	-4,1%	3,9%
Taxa de Câmbio Brasil	Tx_Cambio	R\$/USD	Econômico	1,21	1,81	1,95	2,31	3,54	2,89	2,66	2,34	2,14	1,78	2,31	1,74	1,66	1,86	2,05	2,36	2,66	3,96	3,25	3,31	3,88	4,02	5,19	5,58
Taxa Selic	Tx_Selic	%	Econômico	29,0%	19,0%	15,8%	19,0%	25,0%	16,5%	17,8%	18,0%	13,3%	11,3%	13,8%	8,8%	10,8%	11,0%	7,2%	10,0%	11,7%	14,3%	13,8%	7,0%	6,5%	4,5%	2,0%	9,25%
Produção Agrícola	Prod_Agric	M-ton	Econômico	77	82	83	100	97	123	119	115	123	132	144	135	149	163	166	189	194	209	187	239	232	247	257	253
Preço da Soja (NY Futuros Série Histórica)	Preco_Soja	USD	Econômico	538	462	500	421	570	789	548	602	684	1.199	972	1.049	1.404	1.212	1.409	1.289	1.023	864	1.005	963	894	944	1.310	1.329
Produção de Minério de Ferro Brasil	Prod_Min	M-ton	Econômico	257,2	261,9	274	267,8	222,1	310,8	346,7	376	413	464	487	407	375	400	406	389	419	431	421	454	450	397	388	408
Preço Minério de Ferro (China Import Iron Ore Fines 62% FE Spot CFR Tianjin)	Preco_Min	USD	Econômico	31	28	29	30	29	32	38	65	74	190	70	105	163	136	129	136	68	41	80	72	69	93	155	96
Participação do Agronegócio no PIB Brasil	Agro_PIB	%	Econômico	29,80%	29,38%	30,47%	30,04%	30,15%	30,48%	27,40%	24,38%	23,31%	22,67%	22,60%	21,37%	21,45%	20,75%	19,14%	18,84%	18,67%	20,13%	22,30%	20,75%	20,11%	20,51%	26,57%	28,00%
Participação da Mineração no PIB Brasil	Min_PIB	%	Econômico			2,36%	2,16%	2,52%	3,28%	3,28%	4,40%	3,90%	3,70%	4,40%	3,60%	4,00%	4,00%	3,70%	3,60%	3,50%	3,60%	3,90%	2,47%	2,44%	3,19%	3,18%	3,69%

Fonte: O Autor

3.3 Descrição do Tratamento dos Dados

Neste tópico, serão discutidos a modelagem da rede, a aplicação da Medida de Dissimilaridade e a apresentação final do banco de dados gerado. Na Tabela 4 abaixo, estão apresentados todos os valores da medida D para todas as interações entre as variáveis do banco de dados original para cada ano estudado. Os dados originais da Tabela 3 para a modelagem da rede foram tratados no *software* R, em que os anos foram considerados camadas da rede (análise multicamadas) e as variáveis, como nós da rede. Dessa forma, foi possível usar os dados em sua totalidade e analisar as relações não lineares ao longo do tempo entre as variáveis. Após a modelagem da rede, foi aplicada a medida D para analisar a interação entre as variáveis, que foi usada como laço entre estas interações. Quanto menores os valores de D na rede, maior a similaridade entre as variáveis. A Rotina e as Funções usadas no *software* R para construir a rede e gerar os valores da medida D estão apresentadas com mais detalhes nos Anexos I e II. O resultado de todos os valores da medida D está apresentado na Tabela 4 abaixo. No total, foram 210 interações entre as variáveis ao longo de 23 anos, gerando uma matriz 210 x 23, com 4.830 dados.

A fim de coletar as interações de maior proximidade, aqui consideradas como laços fortes (menor heterogeneidade), e as de maior distanciamento, aqui consideradas laços fracos (maior heterogeneidade), foi usada a Função “Quartil” do Microsoft Excel para dividir os dados em quatro quartis, concentrando os valores de maior proximidade nas células em verde e os de maior distanciamento nas células contornadas por uma linha vermelha. Nas células em amarelo e vermelho, estão concentrados os valores do segundo e terceiro quartis, respectivamente. Os valores da medida D são adimensionais, e o primeiro quartil vai até o limite de 0,0907; o segundo quartil vai até o limite de 0,1157; o terceiro quartil vai até o limite de 0,1634; e o quarto quartil vai até o limite de 0,3200, que também representa o valor máximo encontrado da medida D no banco de dados.

Tabela 4 - Valores da Medida D

Quartil 1: 0,0907
Quartil 2: 0,1157
Quartil 3: 0,1634
Quartil 4: 0,3200

V1	V2	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Média
Vol_Porto	Prod_Agric	0,026	0,027	0,03	0,038	0,043	0,049	0,037	0,047	0,055	0,057	0,053	0,053	0,03	0,035	0,039	0,054	0,038	0,027	0,027	0,02	0,031	0,02	0,02	0,028	0,037
Tx_Selic	Agro_PIB	0,161	0,081	0,091	0,086	0,161	0,09	0,081	0,062	0,056	0,054	0,06	0,046	0,048	0,049	0,051	0,051	0,055	0,066	0,06	0,053	0,057	0,064	0,085	0,094	0,073
Inv_Ferrovia	Agro_PIB	0,058	0,059	0,06	0,063	0,061	0,066	0,073	0,059	0,074	0,066	0,073	0,084	0,068	0,074	0,071	0,07	0,078	0,182	0,08	0,074	0,069	0,071	0,085		0,075
Prod_Vg	Preco_Min	0,067	0,072	0,072	0,067	0,063	0,086	0,091	0,172	0,064	0,172	0,073	0,083	0,067	0,081	0,063	0,062	0,068	0,086	0,065	0,069	0,072	0,089	0,082	0,064	0,081
Tx_Cambio	Prod_Agric	0,053	0,076	0,078	0,066	0,105	0,074	0,055	0,063	0,053	0,052	0,059	0,053	0,052	0,052	0,057	0,073	0,073	0,093	0,079	0,158	0,145	0,147	0,113	0,119	0,081
Vol_Porto	Tx_Cambio	0,06	0,088	0,079	0,077	0,099	0,069	0,054	0,055	0,055	0,06	0,063	0,057	0,058	0,054	0,058	0,066	0,071	0,094	0,081	0,157	0,145	0,145	0,119	0,096	0,082
Tx_Cambio	Preco_Min	0,07	0,087	0,086	0,086	0,085	0,08	0,079	0,074	0,081	0,171	0,078	0,081	0,086	0,08	0,074	0,08	0,066	0,079	0,066	0,066	0,067	0,075	0,157	0,166	0,088
Tx_Cambio	Prod_Vg	0,069	0,082	0,08	0,09	0,095	0,071	0,069	0,172	0,074	0,077	0,075	0,08	0,08	0,083	0,078	0,077	0,069	0,081	0,065	0,07	0,081	0,09	0,162	0,16	0,089
Preco_Soja	Preco_Min	0,056	0,058	0,057	0,059	0,056	0,064	0,056	0,081	0,089	0,105	0,065	0,089	0,149	0,168	0,16	0,141	0,068	0,07	0,071	0,067	0,064	0,069	0,139	0,162	0,09
Res_MRS	Agro_PIB		0,12	0,178	0,179	0,179	0,113	0,102	0,07	0,068	0,066	0,067	0,066	0,065	0,068	0,068	0,07	0,068	0,067	0,066	0,066	0,067	0,068	0,093	0,102	0,09
Preco_Min	Fat_Veic_Auto	0,062	0,053	0,056	0,058	0,053	0,058	0,06	0,074	0,072	0,163	0,079	0,09	0,127	0,122	0,132	0,122	0,171	0,087	0,073	0,081	0,081	0,083	0,119	0,097	0,091
Transp_Min_Trem	Res_MRS	0,149	0,157	0,164	0,164	0,159	0,177	0,075	0,078	0,073	0,064	0,063	0,075	0,065	0,067	0,063	0,067	0,064	0,066	0,067	0,072	0,073	0,068	0,072	0,069	0,092
Preco_Min	Inv_Ferrovia	0,088	0,088	0,088	0,09	0,089	0,089	0,092	0,088	0,098	0,184	0,08	0,098	0,079	0,072	0,07	0,076	0,081	0,177	0,082	0,078	0,079	0,08	0,077		0,092
Preco_Min	Prod_Caminhao	0,049	0,051	0,051	0,057	0,051	0,057	0,085	0,072	0,076	0,163	0,164	0,085	0,144	0,163	0,093	0,154	0,084	0,055	0,091	0,084	0,071	0,078	0,108	0,162	0,094
Preco_Min	Agro_PIB	0,099	0,096	0,101	0,099	0,099	0,101	0,088	0,073	0,079	0,185	0,076	0,083	0,094	0,089	0,08	0,086	0,087	0,106	0,078	0,084	0,081	0,082	0,115	0,102	0,094
Transp_CG_Trem	Res_MRS	0,136	0,149		0,166	0,174	0,091	0,086	0,066	0,089	0,069	0,073	0,08	0,076	0,069	0,072	0,073	0,072	0,068	0,073	0,069	0,077	0,082	0,08	0,185	0,095
Prod_Caminhao	Fat_Veic_Auto	0,068	0,06	0,065	0,064	0,058	0,064	0,091	0,081	0,073	0,089	0,153	0,093	0,096	0,128	0,173	0,105	0,163	0,079	0,075	0,087	0,084	0,077	0,077	0,169	0,095
Prod_Vg	Inv_Ferrovia	0,085	0,089	0,089	0,085	0,086	0,099	0,105	0,182	0,098	0,084	0,096	0,083	0,079	0,088	0,08	0,076	0,082	0,17	0,082	0,08	0,075	0,095	0,091		0,095
Prod_Caminhao	Inv_Autopc	0,085	0,073	0,078	0,072	0,095	0,07	0,073	0,087	0,087	0,089	0,134	0,086	0,134		0,166	0,146	0,083	0,072	0,084	0,073	0,075	0,088	0,084	0,166	0,096
Prod_Vg	Agro_PIB	0,099	0,096	0,1	0,099	0,096	0,114	0,113	0,185	0,079	0,105	0,079	0,114	0,075	0,076	0,082	0,085	0,074	0,075	0,073	0,085	0,089	0,114	0,089	0,099	0,096
Transp_Min_Trem	Agro_PIB	0,155	0,16	0,149	0,151	0,141	0,139	0,117	0,088	0,082	0,071	0,07	0,095	0,066	0,065	0,062	0,063	0,06	0,065	0,075	0,07	0,071	0,064	0,108	0,126	0,096
Var_PIB	Tx_Cambio	0,089	0,085	0,072	0,079	0,093	0,076	0,077	0,072	0,074	0,076	0,074	0,085	0,172	0,073	0,075	0,072	0,078	0,158	0,163	0,077	0,086	0,086	0,146	0,175	0,096
Preco_Soja	Fat_Veic_Auto	0,069	0,057	0,068	0,069	0,064	0,091	0,069	0,067	0,073	0,168	0,079	0,081	0,096	0,146	0,096	0,16	0,161	0,096	0,077	0,072	0,071	0,161	0,159	0,097	0,097
Vol_Porto	Preco_Min	0,06	0,06	0,058	0,061	0,061	0,068	0,08	0,092	0,1	0,168	0,097	0,091	0,092	0,085	0,082	0,086	0,096	0,104	0,094	0,139	0,141	0,136	0,147	0,138	0,097
Prod_Agric	Preco_Min	0,059	0,056	0,056	0,062	0,06	0,087	0,08	0,088	0,095	0,169	0,096	0,097	0,091	0,084	0,08	0,092	0,094	0,1	0,097	0,137	0,14	0,135	0,147	0,136	0,097
Var_PIB	Preco_Min	0,084	0,084	0,081	0,078	0,08	0,08	0,086	0,077	0,08	0,165	0,089	0,077	0,155	0,092	0,079	0,085	0,075	0,167	0,163	0,075	0,074	0,076	0,158	0,083	0,098
Transp_CG_Trem	Agro_PIB	0,2	0,203	0,178	0,098	0,1	0,101	0,1	0,074	0,09	0,076	0,075	0,085	0,07	0,063	0,069	0,069	0,069	0,065	0,076	0,064	0,067	0,072	0,107	0,18	0,098
Inv_Autopc	Fat_Veic_Auto	0,076	0,073	0,079	0,081	0,1	0,096	0,083	0,078	0,078	0,104	0,16	0,089	0,15	0,128	0,117	0,123	0,163	0,071	0,077	0,078	0,081	0,083	0,098	0,096	0,098
Tx_Cambio	Agro_PIB	0,111	0,114	0,118	0,121	0,121	0,123	0,102	0,075	0,073	0,082	0,073	0,075	0,08	0,071	0,073	0,073	0,074	0,091	0,068	0,075	0,091	0,091	0,197	0,197	0,099
Tx_Cambio	Inv_Ferrovia	0,095	0,107	0,107	0,109	0,125	0,107	0,085	0,081	0,085	0,082	0,082	0,084	0,087	0,091	0,081	0,08	0,091	0,165	0,086	0,083	0,094	0,094	0,176		0,099
Prod_Vg	Prod_Agric	0,072	0,079	0,079	0,08	0,07	0,097	0,095	0,17	0,094	0,096	0,085	0,096	0,088	0,076	0,089	0,097	0,072	0,072	0,072	0,138	0,136	0,149	0,141	0,135	0,099
Var_PIB	Prod_Vg	0,078	0,075	0,086	0,075	0,081	0,076	0,091	0,172	0,093	0,089	0,092	0,079	0,171	0,096	0,077	0,081	0,103	0,15	0,152	0,081	0,076	0,076	0,168	0,088	0,1
Vol_Porto	Prod_Vg	0,075	0,082	0,078	0,079	0,079	0,095	0,09	0,163	0,085	0,111	0,08	0,112	0,092	0,085	0,094	0,1	0,073	0,068	0,073	0,14	0,136	0,149	0,14	0,136	0,101
Tx_Selic	Inv_Ferrovia	0,167	0,094	0,097	0,093	0,168	0,091	0,082	0,089	0,081	0,086	0,083	0,095	0,083	0,088	0,08	0,082	0,092	0,197	0,094	0,084	0,09	0,1	0,102		0,101
Tx_Cambio	Tx_Selic	0,168	0,086	0,078	0,08	0,185	0,077	0,072	0,078	0,075	0,085	0,074	0,088	0,088	0,083	0,09	0,081	0,077	0,093	0,08	0,088	0,104	0,103	0,198	0,197	0,101
Transp_Min_Trem	Transp_CG_Trem	0,11	0,11	0,164	0,159	0,156	0,157	0,087	0,09	0,089	0,077	0,073	0,087	0,089	0,081	0,082	0,08	0,079	0,084	0,091	0,073	0,071	0,089	0,087	0,176	0,102
Transp_CG_Trem	Tx_Selic	0,203	0,228	0,184	0,075	0,18	0,079	0,074	0,078	0,083	0,071	0,073	0,09	0,078	0,07	0,081	0,071	0,071	0,07	0,071	0,079	0,085	0,083	0,082	0,191	0,102
Tx_Selic	Res_MRS	0,194	0,127	0,184	0,181	0,2	0,095	0,094	0,096	0,083	0,078	0,088	0,078	0,082	0,082	0,078	0,079	0,079	0,087	0,086	0,078	0,079	0,085	0,091	0,077	0,103
Prod_Vg	Prod_Caminhao	0,068	0,073	0,072	0,069	0,067	0,082	0,097	0,169	0,088	0,086	0,161	0,09	0,159	0,164	0,094	0,16	0,099	0,1	0,098	0,089	0,08	0,083	0,076	0,17	0,104
Transp_Min_Trem	Prod_Min	0,117	0,117	0,114	0,114	0,183	0,218	0,167	0,113	0,111	0,098	0,189	0,118	0,078	0,069	0,069	0,07	0,071	0,067	0,071	0,074	0,07	0,			

Prod_Agric	Inv_Ferrovia	0,09	0,089	0,089	0,093	0,09	0,098	0,081	0,097	0,083	0,083	0,098	0,086	0,093	0,099	0,094	0,108	0,104	0,163	0,102	0,145	0,148	0,153	0,148		0,106
Preco_Soja	Inv_Autopc	0,081	0,071	0,083	0,08	0,119	0,084	0,084	0,088	0,08	0,167	0,167	0,087	0,134	0,105	0,146	0,154	0,106	0,075	0,086	0,082	0,079	0,091	0,147	0,147	0,106
Vol_Porto	Agro_PIB	0,105	0,106	0,107	0,107	0,111	0,122	0,111	0,084	0,083	0,08	0,081	0,069	0,072	0,069	0,071	0,072	0,072	0,072	0,08	0,178	0,177	0,178	0,169	0,174	0,106
Prod_Vg	Tx_Selic	0,168	0,096	0,1	0,098	0,165	0,094	0,095	0,191	0,09	0,104	0,093	0,109	0,091	0,088	0,096	0,095	0,086	0,09	0,09	0,096	0,103	0,116	0,118	0,093	0,107
Transp_Min_Trem	Tx_Selic	0,189	0,191	0,192	0,188	0,171	0,183	0,086	0,086	0,079	0,08	0,084	0,094	0,077	0,079	0,066	0,076	0,08	0,094	0,091	0,083	0,087	0,079	0,074	0,073	0,108
Part_Ferr	Agro_PIB	0,083	0,087	0,083	0,081	0,077	0,09	0,099	0,093	0,095	0,098	0,098	0,113	0,122	0,129	0,127	0,129	0,129	0,131	0,137	0,128	0,128	0,133	0,09	0,108	
Prod_Agric	Agro_PIB	0,108	0,106	0,109	0,111	0,11	0,131	0,11	0,09	0,081	0,082	0,083	0,08	0,074	0,073	0,071	0,082	0,082	0,079	0,084	0,178	0,177	0,178	0,171	0,171	0,109
Tx_Cambio	Transp_CG_Trem	0,27	0,289	0,193	0,071	0,113	0,082	0,062	0,067	0,068	0,062	0,063	0,07	0,099	0,064	0,062	0,062	0,066	0,105	0,092	0,077	0,093	0,095	0,2	0,2	0,109
Vol_Porto	Inv_Ferrovia	0,093	0,093	0,092	0,095	0,096	0,096	0,09	0,091	0,107	0,104	0,101	0,108	0,095	0,103	0,096	0,1	0,106	0,163	0,104	0,143	0,146	0,152	0,146		0,11
Tx_Cambio	Inv_Autopc	0,09	0,093	0,094	0,098	0,088	0,09	0,089	0,103	0,098	0,099	0,167	0,108	0,166	0,173	0,159	0,159	0,091	0,082	0,08	0,078	0,072	0,083	0,139	0,139	0,11
Prod_Vg	Inv_Autopc	0,093	0,085	0,086	0,086	0,1	0,086	0,099	0,163	0,114	0,094	0,159	0,09	0,168	0,164	0,156	0,157	0,105	0,096	0,093	0,091	0,088	0,093	0,087	0,089	0,11
Tx_Selic	Prod_Min	0,168	0,159	0,162	0,159	0,109	0,179	0,178	0,109	0,085	0,087	0,181	0,077	0,089	0,082	0,073	0,084	0,081	0,093	0,091	0,08	0,082	0,081	0,086	0,076	0,11
Var_PIB	Prod_Caminhao	0,089	0,097	0,1	0,087	0,097	0,088	0,1	0,091	0,1	0,099	0,156	0,086	0,105	0,171	0,09	0,175	0,086	0,151	0,155	0,084	0,081	0,079	0,153	0,159	0,112
Prod_Agric	Fat_Veic_Auto	0,078	0,067	0,071	0,077	0,07	0,104	0,099	0,091	0,095	0,115	0,105	0,109	0,139	0,133	0,129	0,139	0,16	0,11	0,11	0,125	0,126	0,125	0,156	0,153	0,112
Vol_Porto	Fat_Veic_Auto	0,082	0,073	0,073	0,075	0,069	0,087	0,103	0,107	0,116	0,123	0,114	0,117	0,134	0,128	0,13	0,131	0,166	0,104	0,104	0,122	0,126	0,122	0,157	0,15	0,113
Var_PIB	Prod_Agric	0,099	0,098	0,084	0,093	0,083	0,098	0,081	0,084	0,082	0,081	0,087	0,104	0,168	0,092	0,103	0,107	0,115	0,148	0,153	0,15	0,148	0,15	0,161	0,162	0,114
Tx_Cambio	Fat_Veic_Auto	0,088	0,103	0,108	0,108	0,109	0,107	0,107	0,104	0,1	0,11	0,107	0,107	0,145	0,143	0,143	0,146	0,171	0,081	0,087	0,091	0,083	0,079	0,157	0,154	0,114
Prod_Agric	Preco_Soja	0,067	0,065	0,064	0,07	0,065	0,1	0,09	0,082	0,096	0,163	0,12	0,114	0,153	0,156	0,148	0,17	0,109	0,112	0,115	0,142	0,138	0,141	0,128	0,132	0,114
Vol_Porto	Tx_Selic	0,152	0,113	0,105	0,099	0,164	0,089	0,088	0,091	0,088	0,088	0,091	0,092	0,087	0,089	0,097	0,088	0,09	0,098	0,096	0,165	0,168	0,165	0,169	0,175	0,115
Prod_Agric	Prod_Caminhao	0,074	0,069	0,075	0,086	0,077	0,102	0,088	0,086	0,092	0,092	0,172	0,091	0,163	0,165	0,099	0,155	0,103	0,111	0,112	0,149	0,144	0,147	0,148	0,158	0,115
Tx_Selic	Prod_Agric	0,159	0,105	0,106	0,099	0,17	0,09	0,09	0,087	0,085	0,091	0,086	0,093	0,087	0,088	0,094	0,094	0,099	0,095	0,167	0,171	0,167	0,171	0,173	0,115	
Var_PIB	Agro_PIB	0,108	0,102	0,109	0,103	0,104	0,104	0,109	0,088	0,096	0,098	0,1	0,106	0,185	0,099	0,1	0,107	0,175	0,176	0,103	0,102	0,103	0,194	0,098	0,115	
Var_PIB	Fat_Veic_Auto	0,106	0,099	0,095	0,099	0,096	0,1	0,091	0,087	0,091	0,106	0,104	0,096	0,135	0,156	0,159	0,153	0,169	0,142	0,141	0,099	0,099	0,099	0,166	0,089	0,116
Var_PIB	Inv_Autopc	0,1	0,092	0,096	0,096	0,114	0,097	0,097	0,098	0,098	0,098	0,173	0,091	0,105	0,171	0,155	0,149	0,092	0,143	0,141	0,097	0,103	0,108	0,144	0,118	0,116
Prod_Caminhao	Inv_Ferrovia	0,1	0,1	0,101	0,104	0,101	0,102	0,094	0,093	0,094	0,094	0,177	0,096	0,166	0,178	0,102	0,166	0,103	0,176	0,116	0,106	0,099	0,097	0,102		0,116
Vol_Porto	Prod_Caminhao	0,074	0,069	0,076	0,085	0,08	0,091	0,093	0,094	0,109	0,097	0,171	0,102	0,16	0,167	0,097	0,158	0,098	0,115	0,115	0,147	0,141	0,145	0,147	0,15	0,116
Vol_Porto	Preco_Soja	0,075	0,072	0,064	0,068	0,075	0,097	0,089	0,101	0,122	0,154	0,119	0,12	0,152	0,152	0,154	0,173	0,11	0,112	0,108	0,14	0,138	0,138	0,132	0,117	0,116
Inv_Ferrovia	Res_Vale	0,077	0,081	0,076	0,083	0,089	0,08	0,09	0,102	0,082	0,082	0,111	0,09	0,172	0,179	0,116	0,161	0,175	0,196	0,11	0,113	0,113	0,176	0,115		0,116
Inv_Ferrovia	Fat_Veic_Auto	0,094	0,089	0,091	0,093	0,09	0,094	0,098	0,109	0,098	0,109	0,105	0,111	0,149	0,153	0,147	0,149	0,174	0,164	0,112	0,106	0,106	0,105	0,126		0,116
Part_Ferr	Inv_Ferrovia	0,101	0,101	0,101	0,1	0,098	0,103	0,09	0,105	0,089	0,088	0,112	0,094	0,135	0,135	0,139	0,14	0,129	0,159	0,129	0,133	0,135	0,138	0,13		0,117
Prod_Agric	Inv_Autopc	0,088	0,086	0,085	0,093	0,131	0,115	0,092	0,094	0,098	0,101	0,153	0,11	0,153	0,165	0,155	0,15	0,114	0,115	0,125	0,138	0,12	0,111	0,109	0,11	0,117
Vol_Porto	Var_PIB	0,1	0,1	0,092	0,091	0,089	0,094	0,088	0,092	0,096	0,098	0,099	0,114	0,167	0,095	0,107	0,102	0,119	0,148	0,148	0,15	0,15	0,15	0,163	0,162	0,117
Transp_CG_Trem	Inv_Ferrovia	0,24	0,24	0,185	0,094	0,092	0,092	0,086	0,092	0,087	0,085	0,089	0,084	0,112	0,101	0,09	0,089	0,107	0,195	0,109	0,103	0,109	0,116	0,102		0,117
Vol_Porto	Transp_CG_Trem	0,271	0,271	0,184	0,082	0,074	0,075	0,069	0,07	0,094	0,065	0,068	0,083	0,086	0,059	0,061	0,067	0,077	0,082	0,088	0,19	0,184	0,182	0,182	0,166	0,118
Inv_Ferrovia	Res_MRS	0,157	0,147	0,185	0,186	0,185	0,108	0,101	0,092	0,099	0,092	0,095	0,097	0,095	0,097	0,095	0,1	0,201	0,1	0,096	0,094	0,095	0,104		0,118	
Fat_Veic_Auto	Agro_PIB		0,11	0,115	0,112	0,111	0,115	0,107	0,107	0,102	0,099	0,101	0,109	0,157	0,154	0,149	0,149	0,19	0,102	0,096	0,11	0,108	0,11	0,11	0,105	0,119
Var_PIB	Preco_Soja	0,103	0,096	0,1	0,091	0,097	0,093	0,094	0,091	0,089	0,156	0,122	0,092	0,105	0,165	0,175	0,164	0,094	0,16	0,161	0,096	0,092	0,097	0,154	0,163	0,119
Prod_Vg	Preco_Soja	0,093	0,091	0,094	0,089	0,088	0,102	0,118	0,165	0,108	0,171	0,096	0,111	0,159	0,163	0,157	0,149	0,093	0,096	0,099	0,105	0,1	0,11	0,153	0,149	0,119
Transp_CG_Trem	Prod_Agric	0,272	0,273	0,179	0,084	0,088	0,079	0,071	0,086	0,079	0,063	0,067	0,073	0,086	0,062	0,067	0,088	0,088	0,085	0,084	0,19	0,184	0,183	0,181	0,156	0,12
Transp_Min_Trem	Inv_Ferrovia	0,191	0,191	0,186	0,189	0,171	0,175	0,098	0,11	0,088	0,087	0,091	0,094	0,092	0,089	0,09	0,089	0,091	0,193	0,092	0,101	0,108	0,088	0,084		0,121
Vol_Porto	Inv_Autopc	0,094	0,092	0,09	0,099	0,127	0,111	0,099	0,108	0,117	0,119	0,159	0,128	0,16	0,167	0,155	0,152	0,121	0,115	0,123	0,138	0,12	0,113	0,11	0,109	0,122
Prod_Caminhao	Agro_PIB	0,111	0,109	0,114	0,115	0,112	0,116	0,109	0,09	0,093	0,095	0,182	0,097	0,174	0,184	0,103	0,17	0,103	0,119	0,114	0,117	0,109	0,1	0,1	0,19	0,122
Part_Ferr	Tx_Selic	0,164	0,114	0,113	0,113	0,164	0,102	0,099	0,101	0,096	0,102	0,094	0,102	0,116	0,122	0,134	0,138	0,14	0,146	0,146	0,125	0,135	0,138	0,117		0,123
Transp_CG_Trem	Min_PIB			0,207	0,231	0,231	0,094	0,092	0,09	0,085	0,074	0,088	0,082	0,09	0,079	0,08	0,082	0,086	0,077	0,072	0,23	0,233	0,1	0,097	0,213	0,123
Res_Vale	Agro_PIB	0,128		0,086	0,094	0,087	0,087	0,087	0,092	0,093	0,096	0,096	0,114	0,172	0,17	0,113	0,167	0,167	0,182	0,109	0,116	0,112	0,193	0,094	0,2	0,124
Res_MRS	Min_PIB			0,207	0,246	0,246	0,099	0,101	0,094	0,091	0,093	0,094	0,091	0,09	0,09	0,098	0,095	0,099	0,096	0,092	0,209	0,209	0,103	0,108	0,093	0,125
Var_PIB	Tx_Selic	0,18	0,092	0,105	0,091																					

Tx Selic	Min_PIB			0,24	0,24	0,249	0,095	0,095	0,101	0,088	0,088	0,099	0,089	0,095	0,095	0,1	0,089	0,087	0,09	0,091	0,238	0,239	0,109	0,11	0,094	0,128
Transp_CG_Trem	Preco_Min	0,268	0,268	0,182	0,1	0,1	0,101	0,103	0,099	0,112	0,193	0,106	0,109	0,12	0,094	0,089	0,092	0,106	0,111	0,107	0,105	0,101	0,108	0,122	0,188	0,129
Prod_Min	Inv_Ferrovia	0,162	0,162	0,162	0,165	0,181	0,183	0,188	0,092	0,119	0,119	0,191	0,117	0,091	0,088	0,089	0,09	0,097	0,185	0,1	0,105	0,099	0,087	0,094		0,129
Preco_Min	Res_Vale	0,101	0,099	0,09	0,095	0,106	0,1	0,1	0,103	0,111	0,175	0,11	0,131	0,154	0,166	0,128	0,147	0,18	0,183	0,116	0,115	0,114	0,173	0,136	0,186	0,13
Part_Ferr	Transp_Min_Trem	0,153	0,153	0,149	0,147	0,14	0,159	0,113	0,111	0,104	0,101	0,115	0,112	0,141	0,15	0,138	0,139	0,125	0,109	0,096	0,165	0,105	0,128	0,141		0,13
Preco_Min	Res_MRS	0,18	0,167	0,182	0,182	0,182	0,125	0,128	0,108	0,109	0,2	0,108	0,106	0,117	0,114	0,11	0,114	0,108	0,122	0,109	0,109	0,108	0,108	0,13	0,107	0,131
Tx_Cambio	Res_MRS	0,179	0,168	0,193	0,193	0,193	0,101	0,102	0,106	0,105	0,102	0,105	0,103	0,114	0,106	0,108	0,1	0,102	0,113	0,102	0,102	0,113	0,112	0,21	0,205	0,131
Fat_Veic_Auto	Res_Vale	0,178	0,105	0,097	0,1	0,114	0,106	0,106	0,091	0,088	0,112	0,118	0,128	0,153	0,164	0,194	0,107	0,192	0,192	0,109	0,122	0,126	0,163	0,107	0,172	0,131
Tx Selic	Fat_Veic_Auto	0,169	0,113	0,121	0,118	0,165	0,119	0,121	0,111	0,111	0,112	0,112	0,11	0,162	0,162	0,164	0,161	0,189	0,113	0,109	0,104	0,113	0,113	0,145	0,129	0,131
Preco_Soja	Agro_PIB	0,119	0,113	0,121	0,113	0,119	0,12	0,109	0,11	0,11	0,179	0,101	0,107	0,174	0,172	0,17	0,184	0,106	0,111	0,101	0,108	0,108	0,109	0,192	0,193	0,131
Transp_CG_Trem	Prod_Min	0,172	0,172	0,162	0,167	0,174	0,173	0,19	0,103	0,127	0,112	0,187	0,121	0,111	0,1	0,1	0,104	0,096	0,094	0,104	0,095	0,09	0,108	0,111	0,178	0,131
Transp_Min_Trem	Min_PIB			0,192	0,192	0,2	0,181	0,111	0,093	0,087	0,092	0,099	0,101	0,092	0,106	0,106	0,106	0,114	0,123	0,123	0,208	0,214	0,118	0,118	0,114	0,131
Tx_Cambio	Res_Vale	0,12	0,13	0,111	0,1	0,123	0,122	0,123	0,102	0,103	0,105	0,1	0,128	0,162	0,164	0,124	0,164	0,168	0,183	0,119	0,119	0,12	0,165	0,193	0,107	0,132
Inv_Autopc	Agro_PIB	0,124	0,121	0,12	0,131	0,13	0,135	0,119	0,117	0,114	0,116	0,179	0,113	0,174	0,184	0,168	0,168	0,126	0,133	0,11	0,113	0,124	0,129	0,115	0,119	0,132
Prod_Agric	Res_Vale	0,113	0,114	0,101	0,092	0,122	0,124	0,124	0,095	0,096	0,101	0,11	0,127	0,155	0,159	0,13	0,153	0,153	0,163	0,14	0,175	0,179	0,15	0,174	0,15	0,133
Part_Ferr	Res_Vale	0,123	0,125	0,127	0,134	0,126	0,12	0,111	0,094	0,09	0,09	0,096	0,11	0,191	0,182	0,164	0,143	0,143	0,162	0,167	0,116	0,171	0,159	0,126		0,133
Prod_Caminhao	Res_Vale	0,105	0,106	0,096	0,106	0,112	0,113	0,134	0,107	0,109	0,117	0,184	0,142	0,136	0,192	0,138	0,136	0,172	0,187	0,108	0,114	0,121	0,172	0,116	0,192	0,134
Prod_Vg	Transp_Min_Trem	0,207	0,213	0,207	0,202	0,179	0,202	0,113	0,186	0,106	0,127	0,102	0,128	0,104	0,098	0,102	0,109	0,093	0,091	0,089	0,105	0,113	0,135	0,122	0,104	0,135
Var_PIB	Res_Vale	0,124	0,125	0,099	0,116	0,12	0,123	0,115	0,104	0,098	0,093	0,093	0,124	0,107	0,187	0,115	0,163	0,175	0,192	0,182	0,123	0,122	0,175	0,173	0,192	0,135
Part_Ferr	Prod_Agric	0,133	0,132	0,132	0,139	0,121	0,131	0,11	0,106	0,103	0,107	0,116	0,117	0,148	0,157	0,141	0,13	0,13	0,126	0,126	0,203	0,162	0,162	0,186		0,136
Transp_Min_Trem	Preco_Min	0,218	0,218	0,212	0,212	0,189	0,187	0,12	0,112	0,114	0,172	0,106	0,122	0,113	0,107	0,101	0,108	0,102	0,132	0,106	0,109	0,106	0,097	0,101	0,101	0,136
Inv_Autopc	Res_Vale	0,128	0,127	0,113	0,113	0,133	0,126	0,124	0,099	0,097	0,097	0,191	0,123	0,136	0,192	0,197	0,084	0,192	0,184	0,123	0,121	0,124	0,167	0,125	0,162	0,137
Prod_Min	Preco_Min	0,191	0,191	0,191	0,191	0,178	0,178	0,178	0,114	0,109	0,184	0,177	0,098	0,113	0,103	0,097	0,108	0,107	0,131	0,112	0,107	0,104	0,103	0,11	0,106	0,137
Tx_Cambio	Transp_Min_Trem	0,221	0,245	0,239	0,242	0,224	0,221	0,084	0,097	0,094	0,095	0,086	0,107	0,099	0,091	0,091	0,089	0,091	0,099	0,089	0,092	0,097	0,103	0,2	0,2	0,137
Part_Ferr	Prod_Vg	0,127	0,13	0,13	0,127	0,114	0,139	0,135	0,185	0,135	0,125	0,136	0,116	0,15	0,163	0,135	0,139	0,131	0,132	0,133	0,151	0,14	0,165	0,122		0,137
Transp_Min_Trem	Prod_Agric	0,218	0,22	0,213	0,227	0,195	0,221	0,087	0,087	0,082	0,075	0,082	0,088	0,078	0,086	0,087	0,107	0,101	0,092	0,074	0,181	0,181	0,172	0,175	0,172	0,138
Prod_Vg	Res_Vale	0,115	0,118	0,11	0,111	0,115	0,124	0,128	0,175	0,119	0,115	0,12	0,115	0,171	0,178	0,128	0,162	0,176	0,17	0,126	0,129	0,122	0,183	0,118	0,175	0,138
Tx Selic	Inv_Autopc	0,166	0,117	0,121	0,113	0,187	0,118	0,11	0,126	0,126	0,129	0,182	0,112	0,179	0,189	0,18	0,174	0,122	0,116	0,121	0,113	0,124	0,123	0,131	0,127	0,138
Vol_Porto	Res_Vale	0,117	0,117	0,102	0,103	0,126	0,12	0,127	0,106	0,122	0,127	0,128	0,148	0,155	0,155	0,144	0,153	0,153	0,163	0,141	0,177	0,182	0,147	0,175	0,137	0,139
Prod_Vg	Prod_Min	0,186	0,192	0,192	0,186	0,178	0,186	0,191	0,189	0,095	0,139	0,185	0,131	0,1	0,098	0,103	0,106	0,097	0,092	0,096	0,117	0,115	0,13	0,117	0,105	0,139
Vol_Porto	Transp_Min_Trem	0,213	0,213	0,219	0,227	0,206	0,213	0,089	0,093	0,098	0,091	0,092	0,104	0,076	0,084	0,084	0,087	0,087	0,09	0,078	0,18	0,181	0,171	0,172	0,176	0,139
Tx Selic	Preco_Soja	0,165	0,112	0,114	0,109	0,165	0,114	0,111	0,108	0,121	0,179	0,117	0,111	0,179	0,179	0,177	0,186	0,116	0,113	0,117	0,111	0,12	0,121	0,193	0,186	0,139
Part_Ferr	Transp_CG_Trem	0,199	0,199	0,183	0,116	0,112	0,112	0,112	0,125	0,112	0,111	0,116	0,112	0,138	0,137	0,148	0,15	0,15	0,15	0,153	0,142	0,135	0,145	0,135		0,139
Part_Ferr	Res_MRS	0,143	0,14	0,183	0,182	0,182	0,116	0,119	0,12	0,118	0,116	0,118	0,116	0,129	0,136	0,145	0,145	0,144	0,145	0,144	0,138	0,145	0,146	0,122		0,139
Part_Ferr	Prod_Min	0,118	0,118	0,118	0,115	0,179	0,176	0,184	0,136	0,136	0,139	0,175	0,139	0,158	0,16	0,123	0,131	0,123	0,118	0,125	0,157	0,121	0,129	0,128		0,139
Part_Ferr	Preco_Min	0,137	0,137	0,137	0,138	0,125	0,13	0,123	0,125	0,126	0,184	0,123	0,136	0,148	0,159	0,126	0,127	0,141	0,16	0,144	0,151	0,145	0,139	0,147		0,14
Preco_Soja	Res_Vale	0,113	0,118	0,101	0,1	0,125	0,117	0,112	0,098	0,104	0,174	0,134	0,138	0,136	0,192	0,204	0,149	0,192	0,18	0,133	0,128	0,12	0,165	0,195	0,13	0,14
Vol_Porto	Prod_Min	0,183	0,183	0,197	0,207	0,169	0,18	0,18	0,111	0,097	0,101	0,173	0,099	0,107	0,099	0,097	0,101	0,094	0,087	0,098	0,173	0,172	0,155	0,154	0,162	0,141
Part_Ferr	Fat_Veic_Auto	0,128	0,129	0,128	0,127	0,115	0,118	0,119	0,111	0,107	0,127	0,121	0,127	0,216	0,215	0,127	0,13	0,163	0,164	0,169	0,162	0,161	0,16	0,117		0,141
Part_Ferr	Tx_Cambio	0,138	0,15	0,152	0,16	0,158	0,148	0,12	0,124	0,12	0,123	0,122	0,13	0,137	0,15	0,148	0,14	0,145	0,132	0,136	0,161	0,135	0,135	0,198		0,142
Var_PIB	Transp_CG_Trem	0,277	0,277	0,18	0,101	0,111	0,104	0,108	0,108	0,108	0,107	0,108	0,108	0,19	0,102	0,106	0,105	0,116	0,188	0,19	0,116	0,121	0,125	0,152	0,192	0,142
Tx_Cambio	Prod_Min	0,193	0,219	0,22	0,224	0,188	0,184	0,188	0,105	0,096	0,119	0,179	0,102	0,114	0,102	0,102	0,1	0,094	0,101	0,096	0,094	0,099	0,101	0,196	0,196	0,142
Tx Selic	Res_Vale	0,18	0,111	0,11	0,111	0,176	0,11	0,106	0,113	0,114	0,12	0,112	0,119	0,182	0,182	0,125	0,182	0,183	0,191	0,116	0,122	0,13	0,198	0,139	0,199	0,143
Vol_Porto	Part_Ferr	0,134	0,134	0,137	0,14	0,129	0,134	0,117	0,117	0,13	0,135	0,139	0,141	0,158	0,168	0,14	0,135	0,135	0,133	0,133	0,205	0,162	0,16	0,187		0,144
Prod_Agric	Res_MRS	0,19	0,178	0,179	0,188	0,18	0,111	0,118	0,118	0,116	0,104	0,113	0,104	0,112	0,112	0,112	0,118	0,118	0,118	0,116	0,187	0,186	0,187	0,194	0,189	0,144
Vol_Porto	Res_MRS	0,195	0,184	0,184	0,182	0,184	0,115	0,116	0,111	0,114	0,103	0,115	0,104	0,112	0,114	0,112	0,115	0,114	0,115	0,115	0,187	0,187	0,187	0,194	0,19	0,144
Transp_CG_Trem	Prod_Caminhao	0,267	0,265																							

Fat Veic_Auto	Res_MRS	0,113	0,175	0,188	0,187	0,176	0,139	0,146	0,137	0,129	0,128	0,13	0,127	0,18	0,18	0,18	0,179	0,205	0,126	0,127	0,131	0,131	0,131	0,153	0,139	0,151
Prod_Caminhao	Res_MRS	0,183	0,171	0,182	0,183	0,182	0,127	0,121	0,12	0,121	0,117	0,2	0,117	0,195	0,205	0,122	0,195	0,122	0,133	0,136	0,13	0,122	0,12	0,14	0,197	0,152
Prod_Min	Fat_Veic_Auto	0,173	0,186	0,18	0,18	0,173	0,174	0,184	0,153	0,143	0,118	0,186	0,116	0,15	0,143	0,142	0,148	0,174	0,124	0,137	0,124	0,125	0,113	0,161	0,157	0,153
Part_Ferr	Inv_Autopc	0,151	0,146	0,147	0,15	0,15	0,145	0,127	0,122	0,117	0,117	0,187	0,134	0,205	0,226	0,144	0,149	0,167	0,157	0,155	0,158	0,162	0,163	0,134	0,182	0,153
Transp_CG_Trem	Inv_Autopc	0,268	0,266	0,2	0,115	0,147	0,125	0,112	0,133	0,122	0,13	0,162	0,118	0,18	0,179	0,167	0,167	0,13	0,131	0,141	0,117	0,122	0,128	0,131	0,182	0,153
Prod_Min	Prod_Caminhao	0,192	0,187	0,194	0,197	0,178	0,179	0,188	0,12	0,116	0,118	0,196	0,108	0,173	0,175	0,107	0,169	0,106	0,139	0,148	0,135	0,125	0,115	0,129	0,186	0,153
Inv_Ferrovia	Min_PIB			0,258	0,26	0,259	0,114	0,109	0,117	0,098	0,101	0,123	0,103	0,12	0,125	0,12	0,122	0,124	0,194	0,124	0,251	0,246	0,125	0,13		0,153
Var_PIB	Transp_Min_Trem	0,231	0,231	0,22	0,222	0,203	0,201	0,12	0,118	0,116	0,11	0,117	0,124	0,175	0,123	0,119	0,121	0,122	0,173	0,173	0,123	0,124	0,12	0,177	0,124	0,154
Transp_Min_Trem	Vol_Rod		0,185	0,185	0,183	0,197	0,211	0,209	0,209	0,178	0,192	0,192	0,188	0,182	0,2	0,112	0,112	0,104	0,094	0,102	0,094	0,099	0,1	0,111	0,098	0,154
Transp_Min_Trem	Fat_Veic_Auto	0,202	0,213	0,202	0,202	0,183	0,177	0,143	0,131	0,122	0,122	0,12	0,132	0,159	0,152	0,152	0,152	0,19	0,126	0,135	0,133	0,132	0,12	0,16	0,155	0,155
Transp_Min_Trem	Prod_Caminhao	0,218	0,213	0,214	0,216	0,191	0,193	0,114	0,111	0,11	0,109	0,187	0,115	0,172	0,177	0,116	0,173	0,118	0,138	0,143	0,136	0,13	0,12	0,127	0,181	0,155
Transp_CG_Trem	Preco_Soja	0,277	0,281	0,188	0,098	0,11	0,124	0,114	0,129	0,124	0,177	0,135	0,136	0,18	0,175	0,162	0,184	0,131	0,134	0,134	0,119	0,114	0,115	0,193	0,2	0,156
Var_PIB	Prod_Min	0,209	0,209	0,202	0,205	0,186	0,178	0,185	0,126	0,129	0,136	0,176	0,111	0,18	0,129	0,116	0,127	0,116	0,167	0,178	0,132	0,128	0,115	0,185	0,129	0,157
Part_Ferr	Preco_Soja	0,148	0,144	0,147	0,145	0,133	0,148	0,127	0,122	0,125	0,19	0,142	0,146	0,214	0,221	0,168	0,174	0,149	0,148	0,152	0,17	0,147	0,151	0,199		0,157
Inv_Autopc	Res_MRS	0,188	0,17	0,2	0,193	0,194	0,126	0,129	0,141	0,139	0,136	0,195	0,122	0,195	0,205	0,198	0,198	0,135	0,124	0,128	0,124	0,13	0,133	0,145	0,135	0,158
Transp_Min_Trem	Res_Vale	0,196	0,197	0,196	0,202	0,177	0,174	0,125	0,117	0,112	0,11	0,116	0,125	0,158	0,16	0,14	0,18	0,168	0,185	0,144	0,144	0,141	0,176	0,141	0,2	0,158
Part_Ferr	Min_PIB			0,24	0,239	0,242	0,109	0,111	0,099	0,099	0,1	0,097	0,107	0,116	0,124	0,189	0,182	0,18	0,183	0,187	0,236	0,231	0,183	0,115		0,16
Prod_Agric	Min_PIB		0,261	0,267	0,265	0,12	0,123	0,101	0,096	0,11	0,101	0,111	0,103	0,105	0,121	0,128	0,129	0,128	0,121	0,246	0,249	0,215	0,215	0,214	0,161	
Tx_Cambio	Min_PIB		0,263	0,264	0,256	0,132	0,127	0,109	0,107	0,118	0,108	0,121	0,115	0,108	0,119	0,12	0,124	0,141	0,121	0,261	0,253	0,149	0,21	0,21	0,161	
Prod_Min	Inv_Autopc	0,197	0,2	0,197	0,209	0,19	0,181	0,189	0,155	0,148	0,144	0,196	0,127	0,16	0,175	0,171	0,179	0,14	0,122	0,128	0,118	0,129	0,134	0,138	0,138	0,161
Prod_Vg	Min_PIB		0,244	0,241	0,243	0,143	0,124	0,193	0,127	0,142	0,126	0,144	0,129	0,119	0,141	0,141	0,122	0,122	0,119	0,247	0,243	0,15	0,145	0,145	0,142	0,161
Preco_Soja	Prod_Min	0,199	0,202	0,198	0,201	0,17	0,19	0,17	0,154	0,15	0,177	0,189	0,115	0,169	0,159	0,159	0,189	0,113	0,126	0,116	0,115	0,117	0,113	0,189	0,187	0,161
Vol_Rod	Min_PIB			0,135	0,123	0,135	0,2	0,187	0,179	0,192	0,193	0,185	0,194	0,193	0,193	0,139	0,138	0,133	0,137	0,133	0,176	0,176	0,137	0,135	0,142	0,161
Transp_Min_Trem	Preco_Soja	0,224	0,227	0,216	0,22	0,193	0,205	0,131	0,129	0,128	0,167	0,128	0,136	0,17	0,16	0,169	0,193	0,111	0,127	0,119	0,118	0,116	0,114	0,19	0,19	0,162
Transp_Min_Trem	Inv_Autopc	0,223	0,225	0,215	0,228	0,209	0,214	0,121	0,137	0,133	0,129	0,164	0,116	0,158	0,177	0,182	0,183	0,146	0,125	0,131	0,125	0,134	0,136	0,143	0,143	0,162
Vol_Porto	Min_PIB		0,267	0,269	0,27	0,126	0,124	0,101	0,105	0,123	0,121	0,121	0,106	0,113	0,123	0,123	0,125	0,12	0,114	0,244	0,244	0,218	0,215	0,213	0,163	
Preco_Soja	Res_MRS	0,197	0,188	0,188	0,183	0,185	0,132	0,147	0,145	0,142	0,19	0,135	0,131	0,195	0,195	0,195	0,197	0,133	0,131	0,135	0,133	0,132	0,133	0,201	0,195	0,164
Prod_Min	Min_PIB		0,225	0,225	0,275	0,201	0,192	0,136	0,13	0,131	0,185	0,132	0,132	0,134	0,134	0,132	0,129	0,128	0,129	0,244	0,24	0,131	0,131	0,134	0,165	
Prod_Min	Res_Vale	0,173	0,173	0,18	0,187	0,193	0,188	0,179	0,143	0,142	0,137	0,172	0,149	0,173	0,163	0,146	0,18	0,162	0,174	0,148	0,14	0,142	0,179	0,144	0,2	0,165
Preco_Min	Min_PIB		0,256	0,256	0,256	0,141	0,141	0,122	0,127	0,207	0,127	0,138	0,139	0,143	0,143	0,147	0,137	0,132	0,127	0,255	0,254	0,139	0,153	0,135	0,167	
Vol_Rod	Agro_PIB		0,234	0,235	0,235	0,237	0,233	0,171	0,194	0,202	0,201	0,19	0,19	0,191	0,19	0,104	0,102	0,108	0,103	0,123	0,107	0,104	0,109	0,156	0,165	0,169
Prod_Min	Vol_Rod		0,212	0,217	0,219	0,295	0,29	0,209	0,209	0,209	0,209	0,186	0,201	0,209	0,114	0,116	0,103	0,098	0,105	0,11	0,103	0,115	0,117	0,11	0,172	
Vol_Rod	Res_MRS		0,225	0,235	0,242	0,269	0,247	0,201	0,196	0,193	0,192	0,193	0,192	0,193	0,193	0,122	0,122	0,122	0,118	0,12	0,119	0,119	0,123	0,12	0,118	0,173
Transp_CG_Trem	Vol_Rod		0,207	0,235	0,251	0,254	0,261	0,168	0,193	0,181	0,196	0,199	0,185	0,198	0,196	0,124	0,113	0,116	0,111	0,127	0,112	0,114	0,123	0,113	0,209	0,173
Res_Vale	Min_PIB		0,271	0,275	0,261	0,116	0,116	0,091	0,102	0,101	0,091	0,114	0,181	0,181	0,125	0,209	0,209	0,19	0,124	0,262	0,267	0,209	0,13	0,209	0,174	
Var_PIB	Min_PIB		0,251	0,244	0,241	0,153	0,145	0,134	0,133	0,139	0,129	0,148	0,2	0,131	0,148	0,146	0,149	0,199	0,196	0,246	0,246	0,152	0,203	0,14	0,176	
Tx_Selic	Vol_Rod		0,256	0,264	0,263	0,271	0,258	0,193	0,193	0,192	0,199	0,193	0,192	0,192	0,192	0,118	0,115	0,121	0,132	0,133	0,119	0,121	0,131	0,125	0,117	0,178
Prod_Caminhao	Min_PIB		0,255	0,25	0,255	0,155	0,151	0,134	0,137	0,147	0,196	0,143	0,203	0,2	0,147	0,21	0,148	0,148	0,145	0,248	0,25	0,152	0,152	0,194	0,183	
Fat_Veic_Auto	Min_PIB		0,257	0,258	0,263	0,153	0,153	0,129	0,127	0,152	0,144	0,148	0,195	0,194	0,203	0,201	0,207	0,138	0,128	0,255	0,257	0,159	0,155	0,145	0,183	
Inv_Autopc	Min_PIB		0,267	0,273	0,253	0,144	0,141	0,132	0,138	0,145	0,193	0,139	0,186	0,2	0,225	0,224	0,141	0,142	0,146	0,269	0,257	0,159	0,159	0,154	0,186	
Part_Ferr	Vol_Rod		0,245	0,249	0,249	0,251	0,254	0,196	0,199	0,202	0,199	0,186	0,198	0,206	0,207	0,133	0,139	0,142	0,137	0,135	0,172	0,139	0,137	0,174		0,189
Prod_Vg	Vol_Rod		0,284	0,285	0,277	0,28	0,286	0,197	0,209	0,201	0,197	0,199	0,204	0,209	0,197	0,147	0,141	0,122	0,115	0,124	0,138	0,141	0,163	0,157	0,141	0,192
Inv_Ferrovia	Vol_Rod		0,269	0,272	0,278	0,273	0,273	0,191	0,199	0,192	0,202	0,204	0,192	0,191	0,206	0,14	0,132	0,134	0,194	0,14	0,132	0,131	0,135	0,141		0,192
Preco_Min	Vol_Rod		0,289	0,29	0,288	0,29	0,289	0,176	0,19	0,2	0,209	0,2	0,202	0,2	0,199	0,136	0,124	0,145	0,171	0,156	0,147	0,146	0,135	0,133	0,143	0,194
Preco_Soja	Min_PIB		0,274	0,273	0,27	0,157	0,15	0,137	0,148	0,194	0,153	0,149	0,203	0,186	0,21	0,212	0,152	0,153	0,148	0,259	0,255	0,159	0,213	0,212	0,194	
Fat_Veic_Auto	Vol_Rod	0,083	0,289	0,286	0,285	0,291	0,284	0,179	0,19	0,199	0,202	0,202	0,202	0,209	0,209	0,139	0,124	0,163	0,163	0,164	0,172	0,168	0,17	0,194	0,192	0,198
Prod_Agric	Vol_Rod		0,299	0,3	0,309	0,305	0,32	0,186	0,188	0,195	0,196	0,185	0,187	0,195	0,193	0,102	0,094	0,099	0,097	0,098						

O ano de 1998 foi proposto como sendo o evento inicial para analisar a dinâmica coevolutiva, pois foi a partir desse ano que o processo de concessão das ferrovias brasileiras à iniciativa privada foi efetivamente consolidado.

Argumenta-se, então, nesta dissertação que se trata de uma análise multinível, pois avaliam-se dois níveis: a ferrovia e o ambiente econômico. Trata-se também de uma análise processual, uma vez que foram discutidos eventos ao longo de 23 anos. As redes também são capazes de capturar interações não lineares, e a heterogeneidade da dinâmica coevolutiva foi avaliada a partir dos laços fortes e fracos na rede, em que os primeiros tendem a ser os laços que amortecem a dinâmica coevolutiva e os segundos tendem a ser os laços que a impulsionam. O primeiro quartil do banco de dados gerado foi assumido como sendo o que engloba os laços fortes (maior similaridade) e o quarto quartil, os laços fracos (maior distanciamento). Os laços capturados pela medida D entre as variáveis representam sua conectividade e interatividade ao longo dos anos, divididos em graus de proximidade e distanciamento pelos quartis propostos. Por último, considera-se o evento inicial que inaugura a dinâmica coevolutiva (MCKELVEY, 2002; PORTER, 2006) como sendo o evento de concessão à iniciativa privada das ferrovias brasileiras. Tal evento se inicia em 1996 e se conclui em 1998, inaugurando para o setor uma dinâmica completamente diferente do que ocorrera nos últimos 65 anos.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

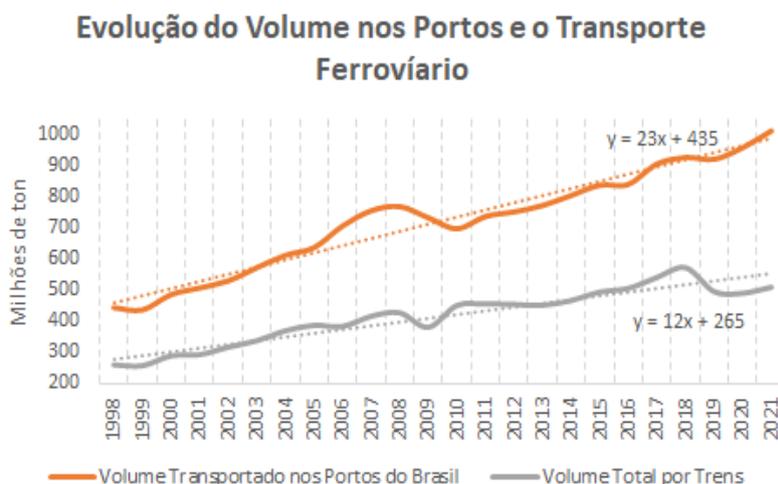
Neste tópico, são apresentados os resultados encontrados a partir do tratamento do banco de dados da Tabela 4. Em seguida, os dados foram analisados com o propósito de se comparar a dinâmica das redes no período estudado. Essa análise foi feita anual e trienalmente, de modo a se poder observar o comportamento da medida D na rede. Na apresentação, são ilustrados os gráficos e grafos gerados pela rede; já na análise, são avaliadas as conexões que estas ilustrações sugerem.

4.1 Apresentação dos Resultados

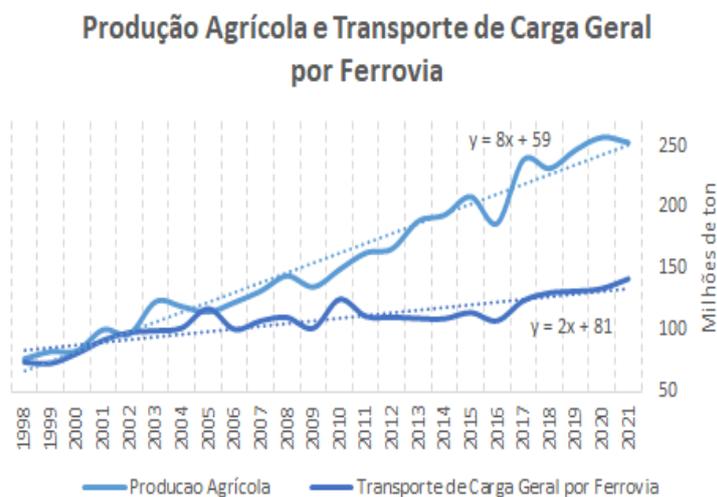
Primeiramente, são apresentados os gráficos que relacionam algumas variáveis no banco de dados original que, de antemão, já se supõe haver um vínculo: (i) a ferrovia e a

produção dos bens por ela transportado; e (ii) a ferrovia e o setor rodoviário de cargas. O primeiro deles (Gráfico 7 item A) mostra o comportamento do volume transportado nos portos brasileiros e o transporte por via férrea; o segundo (Gráfico 7 item B) ilustra o comportamento da produção agrícola brasileira e o transporte de carga geral por via férrea, cujo principal produto transportado são os grãos; e o terceiro (Gráfico 7 item C) apresenta a evolução da produção de minério de ferro e o transporte de minério por via férrea. O objetivo, ao apresentar esses gráficos, é mostrar como se deu o crescimento do transporte ferroviário comparado à expansão das principais *commodities* (minério e grãos) transportadas por este modal, somada ao crescimento da movimentação nos portos, principal destino da ferrovia.

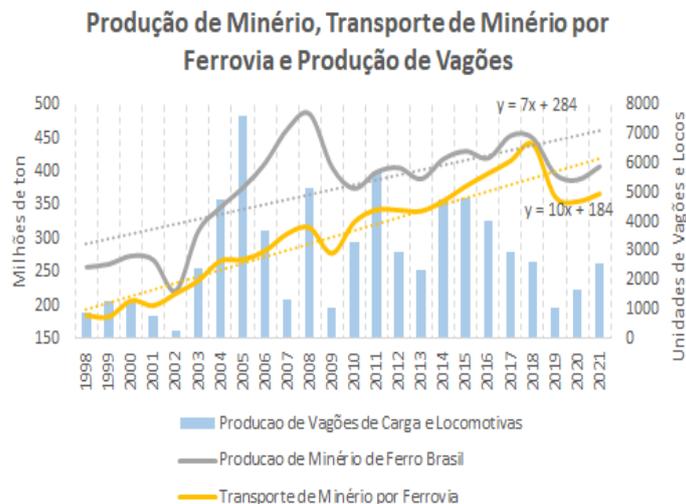
Gráfico 7 - Avanço do Transporte Ferroviário no Brasil
Item A: Transporte Ferroviário x Volume Transportado nos Portos



Item B: Transporte de Carga Geral por Ferrovia x Produção Agrícola



Item C: Transporte de Minério por Ferrovia x Produção de Minério e Vagões



Fonte: O Autor

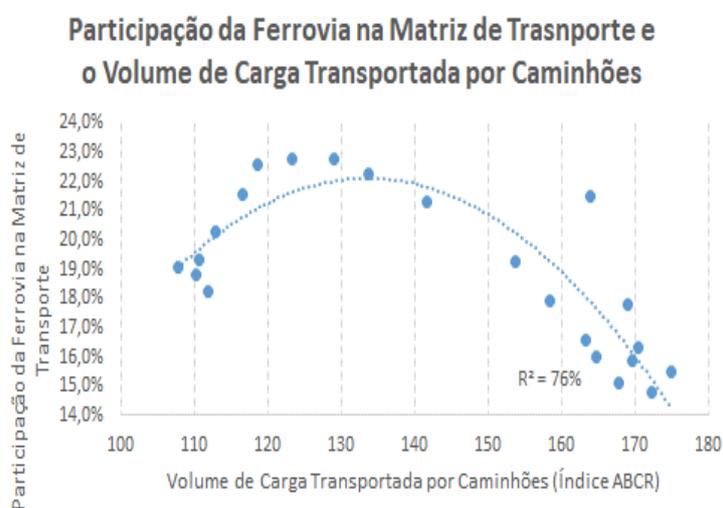
Observa-se nesses gráficos que a taxa de crescimento do transporte ferroviário, de forma geral, foi proporcionalmente a metade¹³ da taxa de crescimento do volume transportado nos portos brasileiros, mesmo sendo os portos o destino final de todas as ferrovias brasileiras. Na comparação entre a produção agrícola brasileira e o transporte de carga geral por ferrovia, a discrepância é ainda maior. A produção agrícola cresceu a uma taxa quatro vezes maior que o transporte de carga geral por via férrea. Por fim, as linhas mais semelhantes são as que comparam a produção de minério no Brasil e o transporte de minério por trens. No início do período analisado, percebe-se um crescimento da produção de minério que não foi acompanhada pelo volume transportado pela ferrovia, mas que começou a se equilibrar a partir de 2010. No item C, inclui-se também a produção dos vagões utilizados para transportar o minério de ferro. Percebe-se que, mesmo com o aumento de entregas crescentes de vagões entre 2003 e 2004, o transporte ferroviário não foi capaz de acompanhar a curva de crescimento da produção de minério no Brasil.

Outro conjunto de gráficos apresentado abaixo relaciona o comportamento da ferrovia com o setor rodoviário de cargas. O primeiro deles relaciona o volume de carga

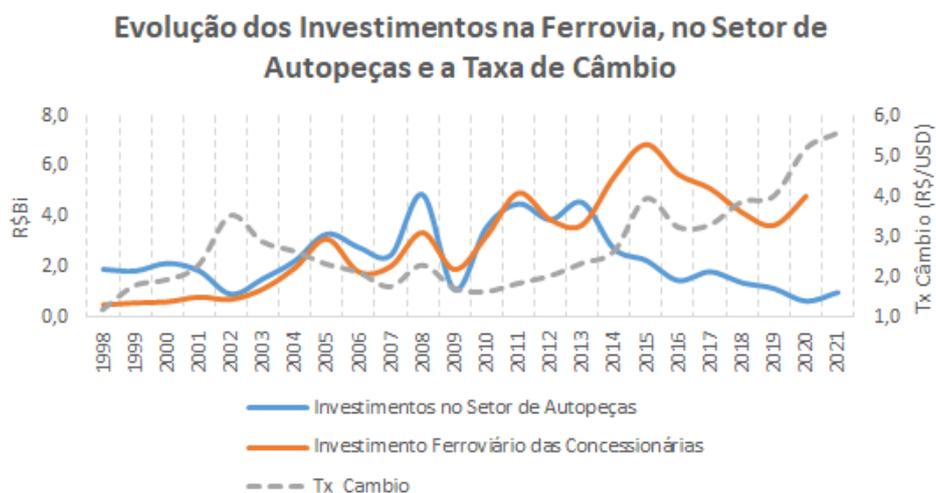
¹³ Compara-se a inclinação das retas, geradas pelas equações apresentadas nos gráficos.

transportada por caminhões e a participação da ferrovia na matriz de transporte (Gráfico 8 item A). Observa-se, nesse gráfico, que existe uma correlação inversa entre o transporte de caminhões e a participação da ferrovia na matriz de transportes, como era de se esperar. Ou seja, quanto maior o volume nas rodovias, menor a participação da ferrovia na matriz de transporte brasileira. Outra informação importante retirada do banco de dados original diz respeito aos investimentos no setor de autopeças. Como pode ser visto no Gráfico 8 item B, os investimentos nesse setor acompanham os investimentos na ferrovia até 2013, quando começa a ocorrer uma diminuição. Os investimentos na ferrovia continuam crescendo até 2015, mas depois declinam. Plotou-se também nesse gráfico a evolução da taxa de câmbio, indicando que, quando essa variável começa a crescer a partir de 2013, os investimentos no setor de autopeças começam a cair. O Gráfico 8 item C apresenta a relação entre a produção de caminhões e vagões e locomotivas no Brasil. Nota-se que a quantidade de caminhões produzidos no Brasil é substantivamente maior do que a quantidade de vagões e locomotivas, mas têm em comum um alto grau de oscilação na produção entre um ano e outro. Por fim, plotaram-se dois gráficos (Gráfico 8 itens D e E) relacionando a produção de caminhões e os preços das principais *commodities* brasileiras (minério e soja). Verificou-se similaridade nas oscilações entre essas variáveis, mas o mesmo não ocorreu quando se compararam os preços da soja e do minério com a produção de vagões.

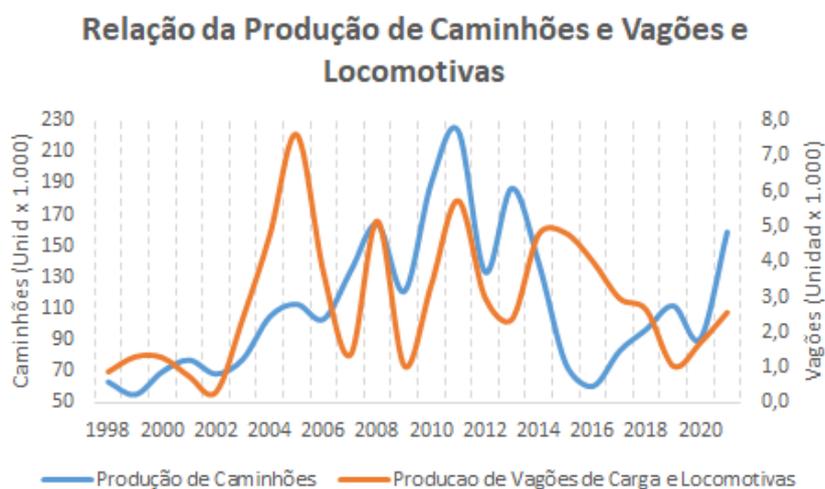
Gráfico 8 - Ferrovia e o Setor Rodoviário de Cargas
Item A: Relação da Ferrovia com o volume de carga transportada por caminhões



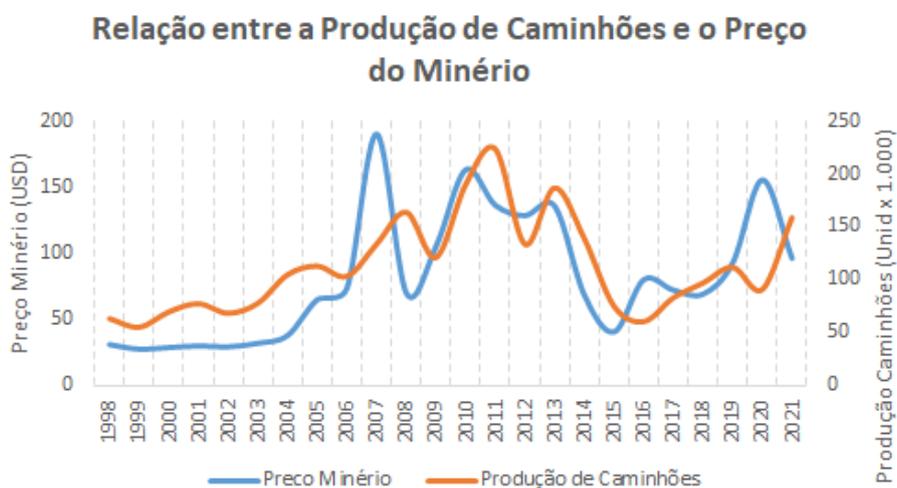
Item B: Investimentos na ferrovia, no Setor de Autopeças e a Taxa de Câmbio



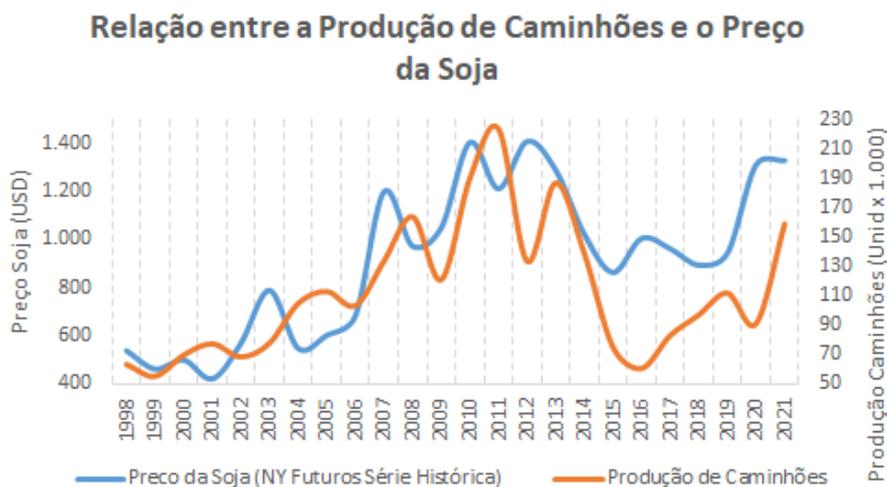
Item C: Produção de Caminhões x Produção de Vagões e Locomotivas



Item D: Produção de Caminhões x Preço do Minério



Item E: Produção de Caminhões x Preço da Soja

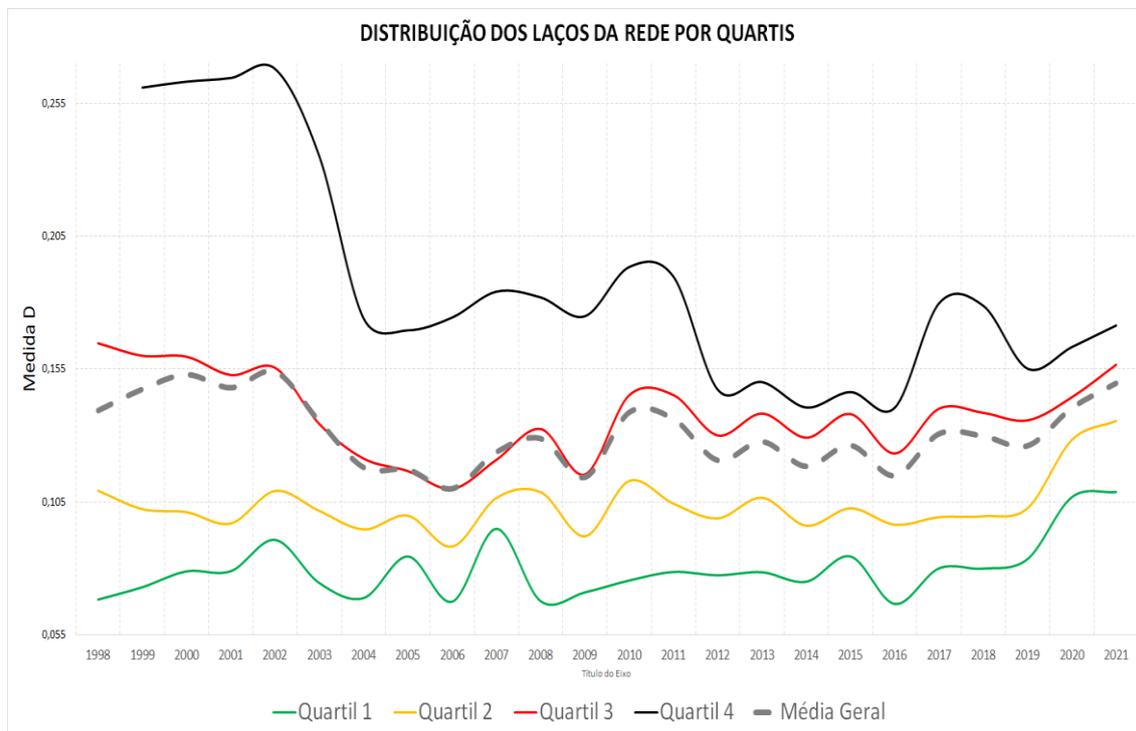


Fonte: O Autor

Abaixo, apresenta-se graficamente o comportamento da rede ao longo do período no que se refere a cada quartil. Para realizar tal análise, o primeiro passo foi estabelecer quais interações fariam parte de cada quartil. Para tanto, usou-se a média de 1998 a 2021 de cada interação da rede gerada (foram 210 interações no total do banco de dados gerados, conforme Tabela 4). Com este valor médio, as interações foram classificadas dentro de cada um dos quatro quartis propostos. As 11 primeiras interações fizeram parte do primeiro quartil (verde); as 59 interações seguintes, do segundo quartil (amarelo); as 112 interações subsequentes, do terceiro quartil (vermelho); e, finalmente, as 28 últimas interações, do quarto quartil (bordeado de vermelho).

O segundo passo foi gerar o valor médio de cada quartil para cada ano. Esse valor é a média aritmética dos valores de cada quartil, ou seja, para o ano de 1998 do primeiro quartil, o valor foi a média encontrada a partir dos 11 dados atribuídos ao primeiro quartil no ano de 1998; 11 dados de 1999 compuseram o cálculo da média para esse ano; e assim sucessivamente. Para o segundo quartil de 1998, a média foram os 59 dados de 1998; e assim sucessivamente. Dessa maneira se procedeu para todos os quatro quartis, desde 1998 até 2021. O Gráfico 9 mostra os resultados encontrados e o comportamento das médias da medida D para cada quartil, além da média geral do banco de dados da Tabela 4.

Gráfico 9 - Distribuição dos Laços na Rede por Quartis



Fonte: O Autor

Para a organização da rede, avaliou-se o comportamento dos laços fortes e fracos ao longo dos anos. Para proceder tal análise, foram considerados na rede apenas as interações presentes no primeiro quartil (laços fortes) e quarto quartil (laços fracos), a fim de se observar a presença dos mecanismos impulsionadores e amortecedores da dinâmica coevolutiva. Foi atribuída ao primeiro quartil a condição de laços fortes dada a alta similaridade dessas interações com baixos valores de D , e ao quarto quartil foi atribuída a condição de laços fracos pelo motivo oposto. Optou-se também por analisar os dados por triênios. Assim, o valor da medida D para o triênio 1998–2000 foi a média aritmética dos valores encontrados da medida D entre os anos 1998 e 2000; em seguida, a média dos valores encontrados para o triênio 2001–2003, e assim sucessivamente. A Tabela 5 abaixo ilustra o banco de dados gerado para a formação da primeira rede (triênio 1998–2000), considerando todos os valores da medida D (quatro quartis) no item A da tabela e já com a exclusão dos valores intermediários no item B da tabela (segundo e terceiro quartis, em amarelo e vermelho). Ressalta-se que, para gerar a rede, foram considerados apenas os dados do primeiro e quarto quartis (laços fortes e fracos).

Tabela 5 - Matriz de Base para formação da rede - Primeiro Triênio

Quartil 1: 0,0907
Quartil 2: 0,1157
Quartil 3: 0,1634
Quartil 4: 0,3200

ITEM A: Média da Medida D para o Triênio 1998-2000 - Considerando dados dos quatro quartis

	Vol_Porto	Part_Ferr	Var_PIB	Tx_Cambio	Prod_Vg	Transp_Min_Trem	Transp_CG_Trem	Tx_Selic	Prod_Agric	Preco_Soja	Prod_Min	Preco_Min	Prod_Caminhao	Inv_Ferrovia	Inv_Autopc	Fat_Veic_Auto	Vol_Rod	Res_Vale	Res_MRS	Agro_PIB	Min_PIB	
Vol_Porto		0,135186	0,097675	0,075762	0,078409	0,214937	0,242392	0,12319	0,02772	0,070297	0,187483	0,059116	0,07319	0,092677	0,091692	0,076233	0,301119	0,111832	0,187814	0,106194	0,26676	
Part_Ferr			0,156342	0,146664	0,129259	0,151883	0,193786	0,130447	0,132419	0,146288	0,117958	0,137321	0,138178	0,101093	0,147946	0,128583	0,246931	0,125043	0,155257	0,084282	0,239958	
Var_PIB				0,082081	0,079632	0,227505	0,244789	0,12573	0,093696	0,099735	0,206868	0,082657	0,095163	0,102702	0,096154	0,099722	0,291551	0,16415	0,178968	0,106129	0,250978	
Tx_Cambio					0,077101	0,234737	0,250574	0,110657	0,069351	0,094043	0,210857	0,080746	0,093801	0,10321	0,092107	0,099528	0,315132	0,120412	0,180131	0,114587	0,26255	
Prod_Vg						0,209098	0,234947	0,121398	0,076495	0,092805	0,189906	0,070285	0,070879	0,087859	0,087715	0,074851	0,284254	0,11431	0,172919	0,098476	0,243975	
Transp_Min_Trem							0,127734	0,190983	0,216736	0,222372	0,115937	0,215751	0,214855	0,189727	0,221106	0,205773	0,185371	0,196324	0,156856	0,154565	0,191638	
Transp_CG_Trem								0,204783	0,241047	0,248634	0,16881	0,239415	0,238137	0,22125	0,244778	0,233356	0,221152	0,220414	0,14282	0,193699	0,206945	
Tx_Selic									0,123174	0,130674	0,162906	0,120734	0,127508	0,119313	0,134618	0,134476	0,260237	0,133504	0,168492	0,111024	0,24009	
Prod_Agric										0,06527	0,188916	0,056955	0,072968	0,089354	0,086374	0,072016	0,299207	0,109142	0,182229	0,097572	0,261088	
Preco_Soja											0,199738	0,057213	0,070895	0,104979	0,078228	0,064447	0,301212	0,110609	0,191258	0,11746	0,274129	
Prod_Min												0,191358	0,191121	0,161765	0,198197	0,179638	0,21468	0,175286	0,176035	0,132499	0,225396	
Preco_Min													0,050459	0,087881	0,079491	0,057107	0,289441	0,096498	0,176053	0,098582	0,256379	
Prod_Caminhao														0,100287	0,078835	0,064264	0,284934	0,102593	0,178634	0,111211	0,255369	
Inv_Ferrovia															0,079599	0,077959	0,162962	0,058904		0,257703		
Inv_Autopc																0,07596	0,29799	0,122881	0,186165	0,121881	0,266979	
Fat_Veic_Auto																	0,219567	0,126871	0,158587	0,112376	0,256598	
Vol_Rod																		0,269852	0,230333	0,2343	0,13484	
Res_Vale																				0,117313	0,107276	0,270642
Res_MRS																					0,14915	0,206945
Agro_PIB																						0,215003
Min_PIB																						

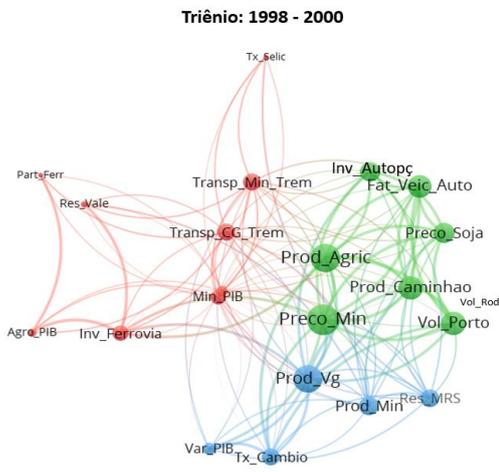
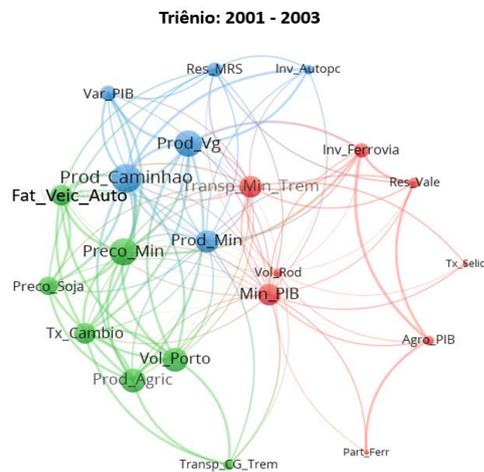
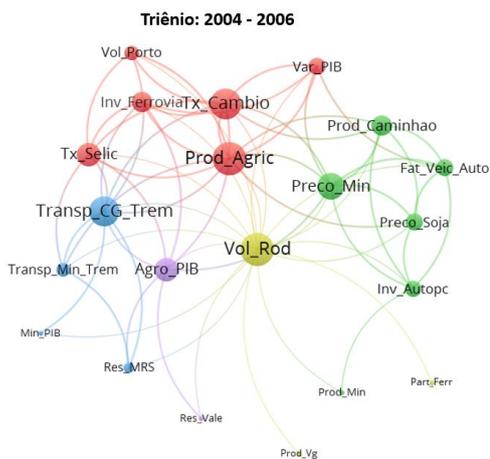
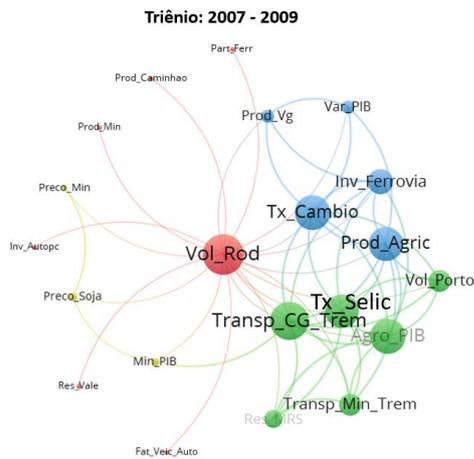
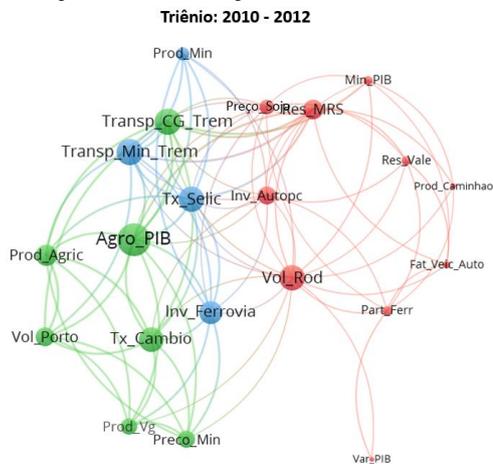
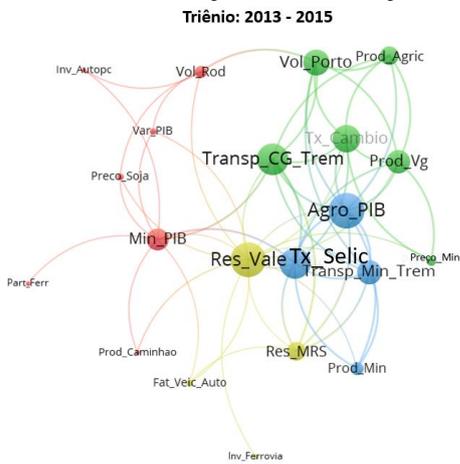
ITEM B: Média da Medida D para o Triênio 1998-2000 - Considerando apenas o primeiro e o quarto quartil

	Vol_Porto	Part_Ferr	Var_PIB	Tx_Cambio	Prod_Vg	Transp_Min_Trem	Transp_CG_Trem	Tx_Selic	Prod_Agric	Preco_Soja	Prod_Min	Preco_Min	Prod_Caminhao	Inv_Ferrovia	Inv_Autopc	Fat_Veic_Auto	Vol_Rod	Res_Vale	Res_MRS	Agro_PIB	Min_PIB	
Vol_Porto				0,075762	0,078409	0,214937	0,242392	0,02772	0,070297	0,187483	0,059116	0,07319				0,076233	0,301119		0,187814		0,106194	0,26676
Part_Ferr							0,193786										0,246931			0,084282	0,239958	
Var_PIB				0,082081	0,079632	0,227505	0,244789			0,206868	0,082657						0,291551		0,178968		0,250978	
Tx_Cambio					0,077101	0,234737	0,250574		0,069351	0,094043	0,210857	0,080746					0,315132		0,180131		0,26255	
Prod_Vg						0,209098	0,234947		0,076495	0,092805	0,189906	0,070285	0,070879	0,087859	0,087715	0,074851	0,284254		0,172919		0,243975	
Transp_Min_Trem								0,190983	0,216736	0,222372	0,115937	0,215751	0,214855	0,189727	0,221106	0,205773	0,185371	0,196324		0,156856	0,191638	
Transp_CG_Trem								0,204783	0,241047	0,248634	0,16881	0,239415	0,238137	0,22125	0,244778	0,233356	0,221152	0,220414	0,14282	0,193699	0,206945	
Tx_Selic																	0,260237		0,168492	0,111024	0,24009	
Prod_Agric										0,06527	0,188916	0,056955	0,072968	0,089354	0,086374	0,072016	0,299207		0,182229	0,097572	0,261088	
Preco_Soja											0,199738	0,057213	0,070895	0,104979	0,078228	0,064447	0,301212		0,191258		0,274129	
Prod_Min												0,191358	0,191121	0,161765	0,198197	0,179638	0,21468	0,175286	0,176035	0,132499	0,225396	
Preco_Min													0,050459	0,087881	0,079491	0,057107	0,289441	0,096498	0,176053	0,098582	0,256379	
Prod_Caminhao														0,100287	0,078835	0,064264	0,284934	0,102593	0,178634	0,111211	0,255369	
Inv_Ferrovia															0,079599	0,077959	0,162962	0,058904		0,257703		
Inv_Autopc																0,07596	0,29799	0,122881	0,186165	0,121881	0,266979	
Fat_Veic_Auto																	0,219567	0,126871	0,158587	0,112376	0,256598	
Vol_Rod																		0,269852	0,230333	0,2343	0,13484	
Res_Vale																				0,117313	0,107276	0,270642
Res_MRS																					0,14915	0,206945
Agro_PIB																						0,215003
Min_PIB																						

Para organizar a rede, transformou-se o arquivo do item B da Tabela 5 em uma extensão .net e usou-se o *software* VOSViewer para apresentar os dados. As linhas mais espessas representam as menores distâncias entre as interações (laços fortes), e os diâmetros dos nós representam a centralidade específica de cada nó na rede. A

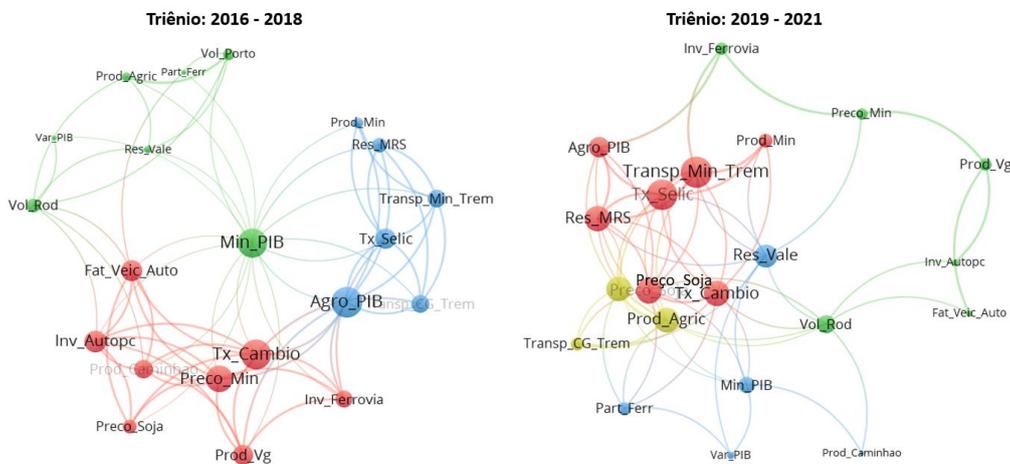
Figura 2 abaixo ilustra o resultado final da rede gerada para cada triênio.

Figura 2 - Organização da Rede com laços fortes e fracos, por triênio

Força Total dos Laços = 17,98**Força Total dos Laços = 17,27****Força Total dos Laços = 14,00****Força Total dos Laços = 11,11****Força Total dos Laços = 17,06****Força Total dos Laços = 12,10**

Força Total dos Laços = 13,83

Força Total dos Laços = 10,32

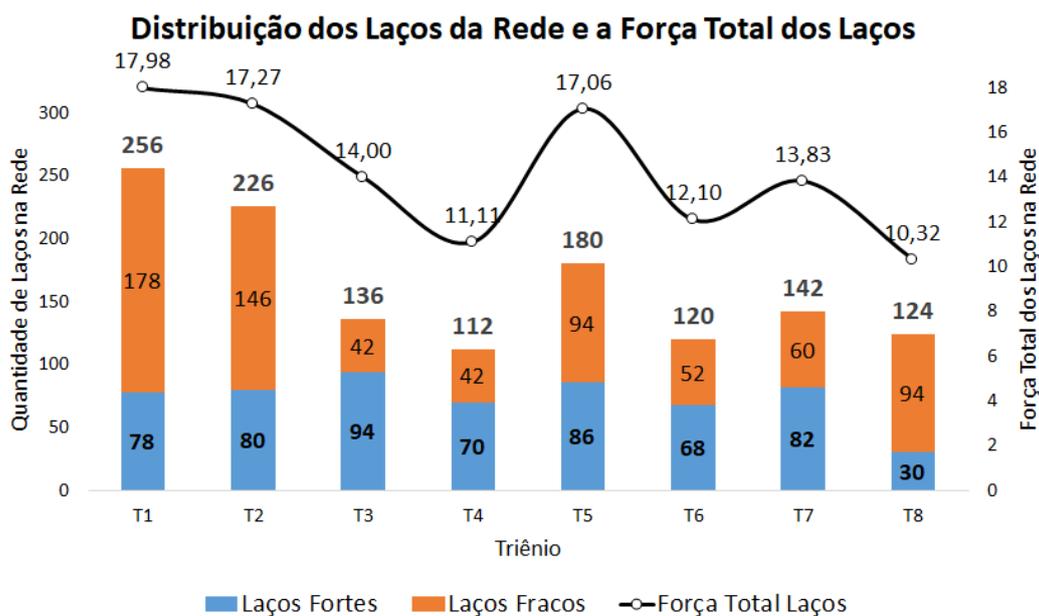


Fonte: O Autor

Para resumir os resultados da rede gerada, elaborou-se o

Gráfico 10 abaixo, em que são apresentadas as quantidades de laços fortes e fracos na rede em cada triênio, comparando-os com a Força Total dos Laços na Rede, uma medida que representa a soma de todos os valores de D na rede em cada triênio.

Gráfico 10 - Relação de Laços Fortes e Fracos na Rede



Fonte: O Autor.

A fim de compreender mais especificamente o comportamento de cada variável pertencente aos níveis do setor ferroviário e do ambiente econômico, elaborou-se a Tabela

6 (Item A – Laços Fortes; Item B – Laços Fracos) abaixo, em que são apresentadas cada uma das variáveis e o seu comportamento ao longo dos triênios estudados no que se refere às suas interações na rede com os laços fracos e fortes.

Tabela 6 - Distribuição de laços na rede por triênio
Item A – Laços Fortes

Quantidade de Laços Fortes na Rede por Triênio									
Nível	Variável	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Ambiente Econômico	Min_PIB	0	0	1	1	1	2	0	0
Ambiente Econômico	Preco_Soja	6	5	5	1	0	0	4	1
Ambiente Econômico	Tx_Cambio	5	7	9	8	8	7	9	1
Ambiente Econômico	Var_PIB	3	4	5	3	0	0	0	0
Ambiente Econômico	Preco_Min	10	9	8	1	6	2	8	2
Ambiente Econômico	Tx_Selic	0	0	7	8	8	8	6	4
Ambiente Econômico	Agro_PIB	2	3	7	8	11	9	9	3
Ambiente Econômico	Vol_Rod	0	0	0	0	0	1	0	0
Ambiente Econômico	Prod_Min	0	0	0	0	4	3	3	2
Ambiente Econômico	Res_MRS	0	0	3	4	4	4	4	3
Ambiente Econômico	Inv_Autopc	6	2	4	0	0	0	6	1
Ambiente Econômico	Vol_Porto	7	8	4	5	7	7	1	1
Ambiente Econômico	Prod_Agric	9	8	10	8	8	5	1	1
Ambiente Econômico	Prod_Caminhao	7	9	6	0	0	0	5	0
Ambiente Econômico	Res_Vale	1	2	1	0	0	0	0	0
Ambiente Econômico	Fat_Veic_Auto	7	6	5	0	0	0	5	1
Ferrovias	Transp_CG_Trem	0	3	9	9	8	8	5	0
Ferrovias	Transp_Min_Trem	0	0	4	5	8	6	5	4
Ferrovias	Prod_Vg	9	9	0	3	6	6	6	3
Ferrovias	Inv_Ferrovias	5	4	6	6	7	0	5	3
Ferrovias	Part_Ferr	1	1	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	78	80	94	70	86	68	82	30

Item B – Laços Fracos

Quantidade de Laços Fracos na Rede por Triênio

Nível	Variável	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Ambiente Econômico	Min_PIB	19	19	1	2	5	7	19	7
Ambiente Econômico	Preco_Soja	6	5	1	2	10	3	1	8
Ambiente Econômico	Tx_Cambio	6	4	1	1	2	1	1	8
Ambiente Econômico	Var_PIB	6	5	1	1	2	3	2	3
Ambiente Econômico	Preco_Min	6	4	1	1	1	1	1	1
Ambiente Econômico	Tx_Selic	5	3	1	1	3	1	1	5
Ambiente Econômico	Agro_PIB	3	2	1	1	2	1	1	3
Ambiente Econômico	Vol_Rod	19	19	20	20	17	4	7	8
Ambiente Econômico	Prod_Min	15	17	2	1	2	1	1	2
Ambiente Econômico	Res_MRS	13	10	1	1	6	2	1	5
Ambiente Econômico	Inv_Autopc	6	5	2	1	12	2	2	1
Ambiente Econômico	Vol_Porto	6	4	1	1	0	0	4	8
Ambiente Econômico	Prod_Agric	6	4	1	1	0	0	3	8
Ambiente Econômico	Prod_Caminhao	6	5	1	1	4	2	2	2
Ambiente Econômico	Res_Vale	5	5	1	1	6	16	4	9
Ambiente Econômico	Fat_Veic_Auto	5	5	1	1	5	3	3	1
Ferrovia	Transp_CG_Trem	18	3	1	1	3	1	1	5
Ferrovia	Transp_Min_Trem	15	17	1	1	3	1	1	5
Ferrovia	Prod_Vg	6	4	1	1	1	1	1	0
Ferrovia	Inv_Ferrovia	4	4	1	1	3	1	1	0
Ferrovia	Part_Ferr	3	2	1	1	7	1	3	5
	TOTAL	178	146	42	42	94	52	60	94

Fonte: O Autor.

Uma vez apresentados os resultados entre as variáveis selecionadas, analisam-se os resultados encontrados com os dados da medida D.

4.2 Análise dos Resultados

Neste tópico, analisam-se três períodos em que houve as mudanças mais importantes no comportamento da rede.

Sobre o comportamento da rede apresentado no Gráfico 9, observa-se que existem dois movimentos de redução do valor da medida D (aumento da similaridade entre as interações da rede) em 2004 e, depois, em 2012, além de um movimento contrário (redução da similaridade) em 2019, com predominância desse comportamento no quarto quartil. Esses movimentos de redução do valor da Medida D fortalecem os laços entre as interações, enquanto os movimentos de aumento do valor da Medida D os enfraquecem. Sugere-se, portanto, que, em 2004 e 2012, houve um fortalecimento dos laços na rede no quarto quartil. E, em 2019, houve um enfraquecimento dos laços, tendo em vista o aumento dos valores de D, fato corroborado também pela análise dos triênios, em que esses anos estão contidos. Observa-se no terceiro triênio (2004 a 2006) uma queda de 146

para 42 laços fracos, quando comparado ao triênio anterior (2001 a 2003). O mesmo ocorre no sexto triênio (2013 a 2015), em que o número de laços fracos cai de 94 para 52. Nos triênios 7 e 8 (2016 a 2021), observaram-se uma queda no número de laços fortes (de 82 para 30) e uma retomada do número de laços fracos (de 60 para 94).

Portanto, analisaram-se três períodos a fim de se compreender as mudanças ocorridas e que afetaram o comportamento da rede. Os períodos analisados foram: (a) o segundo e terceiro triênios (ano de 2004); (b) o quinto e sexto triênios (ano de 2012); e (c) o sétimo e oitavo triênios (ano de 2019). A análise de cada período analisado está dividida em três partes, a saber: (i) identificar no banco de dados original quais variáveis mais oscilaram entre um triênio e outro; (ii) identificar as variáveis mais envolvidas com as oscilações em suas interações com a rede; e (iii) elaborar uma rede com essas variáveis usando a medida D para avaliar como se deram as interações entre elas.

4.2.1 Triênios 2 e 3 (2001 a 2006)

Observando-se o banco de dados original (Tabela 3), de todas as variáveis selecionadas, as cinco que mais variaram entre os triênios 2 e 3 (2001 a 2006) foram a produção de vagões e locomotivas (crescimento de 364%), os investimentos na ferrovia (crescimento de 158%), o resultado financeiro da MRS (crescimento de 147%), os investimentos no setor de autopeças (crescimento de 124%) e o preço do minério (crescimento de 93%). A partir desse ano, a produção de vagões e locomotivas cresceu, indo de 299 unidades, em 2002, para 7.603 unidades, em 2005, recorde histórico de produção. Em relação aos investimentos no setor ferroviário e no setor de autopeças, em 2002, foram investidos R\$ 720 milhões e R\$ 920 milhões, respectivamente, chegando em 2005 a R\$ 3,1 bilhões na ferrovia e R\$ 3,3 bilhões no setor de autopeças. O comportamento dos investimentos na ferrovia e no setor de autopeças no banco de dados original é muito similar até o quinto triênio, quando ocorre um descolamento no avanço de ambas. É importante registrar que todas as variáveis apresentaram crescimento de um triênio para o outro.

Existem também as variáveis que mais oscilaram em suas interações na rede entre um triênio e outro. Com o intuito de verificar quais dessas variáveis ganharam ou perderam mais laços no primeiro quartil (laços fortes) e no quarto (laços fracos), examinou-se esse comportamento a fim de verificar essas mudanças.

Analisando a Tabela 6 Item B, constatou-se que as alterações no comportamento do quarto quartil discutidas nos parágrafos anteriores estão concentradas nas interações envolvendo quatro variáveis, todas elas diretamente envolvidas com a mineração no Brasil. São elas: a participação da mineração no PIB Brasil, o transporte de minério por via férrea, a produção de minério no Brasil e o resultado financeiro da MRS, esta última sendo também uma das maiores oscilações no banco de dados original da Tabela 3. É interessante notar que as variáveis que mais oscilam no banco de dados original (Tabela 3) não são as mesmas variáveis que alteram a quantidade de laços que as ligam na rede (Tabela 6), com exceção do resultado financeiro da MRS. Nota-se, assim, que, no período analisado, as maiores oscilações das variáveis não afetaram diretamente o comportamento das suas interações na rede, mas refletiram no comportamento das interações de outras variáveis.

As interações envolvendo a participação da mineração no PIB Brasil tinham um caráter essencialmente fraco na rede no segundo triênio. No que se refere ao comportamento dessa variável no banco de dados original, verificou-se um aumento da participação da mineração no PIB Brasil de 2,65% no segundo triênio para 3,86% no terceiro.

As interações envolvendo o transporte de minério por via férrea também tinham um caráter essencialmente fraco no segundo triênio. No banco de dados original, verificou-se que o transporte de minério por via férrea carregou 218 milhões de toneladas no segundo triênio (média entre 2001 a 2003) e 272 milhões de toneladas no terceiro (média entre 2004 a 2006), elevando-se em 25%.

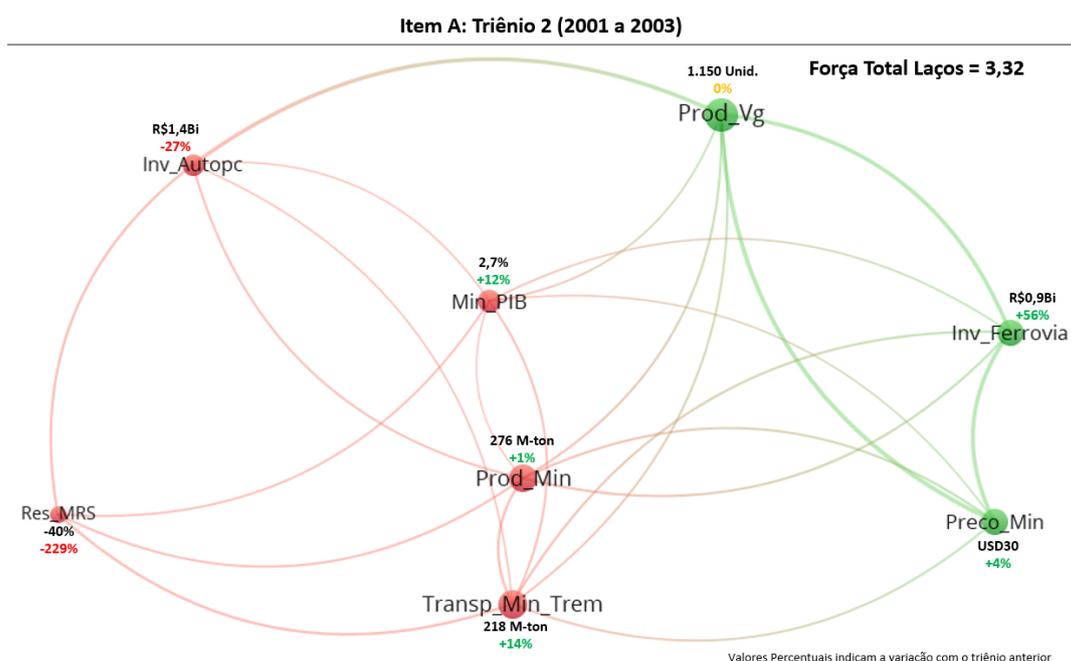
As interações da produção de minério no Brasil continuaram fracas entre o segundo e terceiro triênios. No entanto, enquanto, no segundo triênio, havia interações fracas com 17 diferentes variáveis, no terceiro triênio, o número de interações fracas caiu para apenas duas: o volume de carga transportada por caminhões e os investimentos no setor de autopeças. A produção de minério no Brasil também cresceu no período, passando de 267 milhões de toneladas no segundo triênio (média entre 2001 a 2003) para 379 milhões de toneladas no terceiro (média entre 2004 a 2006), registrando um aumento de 42%.

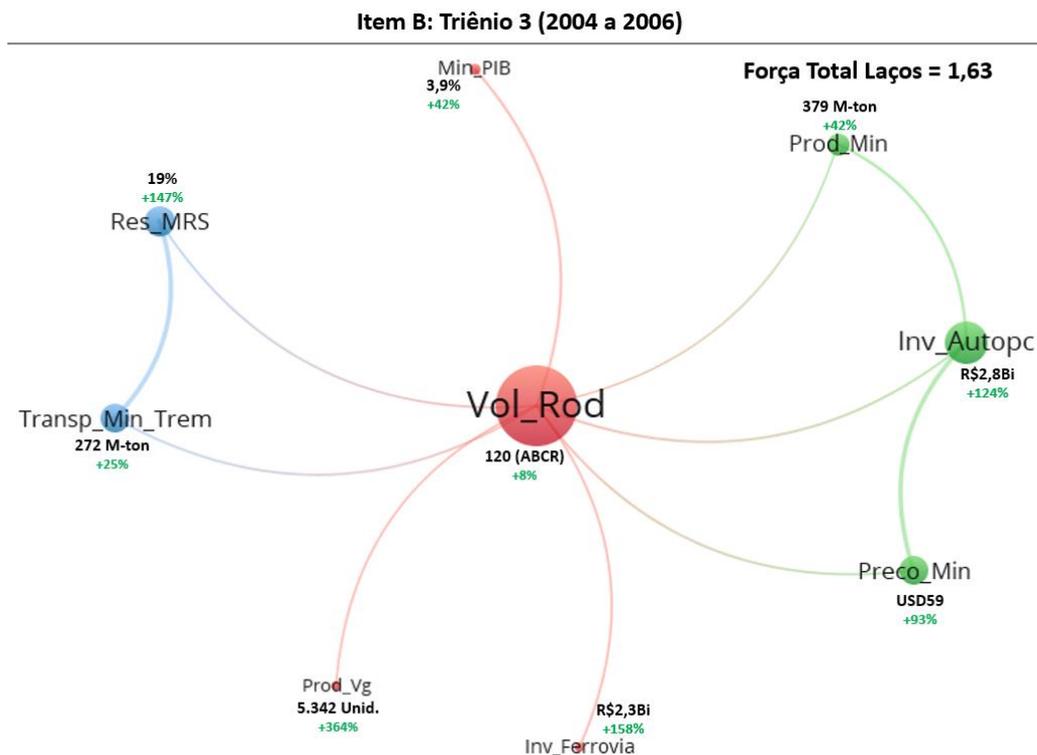
Por fim, as interações com o resultado financeiro da MRS também tinham um caráter essencialmente fraco no segundo triênio. A partir do terceiro, as interações fracas ou fortes se reduziram para quatro, sendo que três delas passaram a ser fortes. O resultado financeiro da MRS também apresentou um dos maiores crescimentos nesse período, considerando o banco de dados original, saindo de um negativo de -40% no segundo triênio (média de 2001 a 2003) para 19% no terceiro (média de 2004 a 2006), com um aumento de 147%.

A fim de avaliar a dinâmica envolvendo as quatro variáveis com mais oscilações em suas interações na rede, combinada com as cinco variáveis que mais alteraram no banco de dados original (o resultado financeiro da MRS apareceu em ambos os critérios), foi feito um recorte usando apenas os laços entre essas variáveis. Quando não existia esse laço com alguma variável, buscou-se na rede o nó (variável intermediária) que pudesse conectá-la à rede.

A Figura 3 abaixo mostra o resultado da modelagem desse recorte na rede, já incluindo os valores originais de cada variável. A espessura dos laços que ligam as variáveis representa os laços fortes (maiores espessuras indicam menores valores de D) e os laços fracos (menores espessuras indicam maiores valores de D).

Figura 3 - Recorte da rede original com as maiores oscilações de variáveis e interações - Triênios 2 e 3





A primeira observação que se pode fazer da Figura 3 é que existem três variáveis relacionadas à ferrovia entre as oito que mais causaram oscilações na rede ou no banco de dados original no segundo e terceiro triênios. A produção de vagões e locomotivas e os investimentos na ferrovia estão contidos na rede por terem tido as maiores variações de um triênio ao outro, e o transporte de minério por via férrea está contido porque suas interações na rede tiveram grandes oscilações. Isso indica que a ferrovia contribuiu para que a rede alterasse seu comportamento neste período. Ou seja, as variáveis relacionadas ao setor ferroviário estão presentes na rede gerada com as variáveis que mais oscilaram seu comportamento em relação às mudanças no tipo de laços ou às maiores variações observadas no banco de dados original.

Observando a rede (Figura 3 Item A), é possível perceber também a alta dependência da ferrovia brasileira em relação à mineração nesse período, representados na rede pelo preço e pela produção de minério no Brasil. O crescimento dessas duas variáveis é muito acentuado no terceiro triênio.

No terceiro triênio, verifica-se que a produção de vagões e locomotivas e os investimentos na ferrovia se isolam no que se refere a ligações na rede, restringindo sua ligação com o volume de carga transportada por caminhões, deixando de interagir de forma mais ampla na rede, ao contrário do que ocorreu no triênio anterior. Nota-se

também que não houve avanço no crescimento dos investimentos na ferrovia no quarto triênio (2007 a 2009), mantendo-se no patamar de R\$ 2,4 bilhões na média, similar ao valor investido no terceiro triênio, cujo valor foi de R\$ 2,3 bilhões. No que se refere à produção de vagões e locomotivas, o efeito foi de redução, caindo para 2.516 unidades na média de 2007 a 2009, ou seja, uma queda de 53%. A análise da rede no terceiro triênio indica que o transporte por caminhões também pode ter contido o avanço da ferrovia no Brasil nesse período. Conforme observado na Figura 3, o transporte de minério por via férrea cresceu 25% entre o segundo e o terceiro triênios. No entanto, esse crescimento não acompanhou a produção de minério no Brasil, que avançou 42% no mesmo período. Esse padrão se manteve no quarto triênio, em que o crescimento do transporte de minério por via férrea foi de 10% e o avanço da produção de minério no mesmo período foi de 19%. Ou seja, no primeiro caso, houve uma defasagem de 17% e no segundo, de 9%, absorvida pelo transporte de caminhões.

Portanto, com base na análise desse período, ressaltam-se os seguintes pontos:

1. As mudanças ocorridas na rede se dão principalmente devido à mineração brasileira;
2. Todas as variáveis analisadas na rede cresceram entre o segundo e terceiro triênios;
3. Com exceção do resultado financeiro da MRS, a oscilação de uma variável no banco de dados original não afetou diretamente o seu comportamento na rede, mas refletiu-se no comportamento de outras;
4. O transporte de carga por caminhões supriu o excedente de produção de minério não absorvido pelo transporte de minério por via férrea.

4.2.2 Triênios 5 e 6 (2010 a 2015)

Seguindo o mesmo raciocínio para avaliar os eventos entre o quinto e sexto triênios, observa-se que são cinco as variáveis que mais oscilaram, tendo por base o banco de dados original da Tabela 3. São elas: o resultado financeiro da Vale, a taxa de câmbio,

o preço do minério, os investimentos na ferrovia e os investimentos no setor de autopeças. O lucro líquido da Vale sofreu uma queda acentuada (-171%) devido à depreciação do real contra o dólar, a ajustes contábeis e à queda do preço do minério, segundo documentos oficiais da empresa (vale.com/brasil/pt/business/reports). A taxa de câmbio cresceu 57%, e o preço do minério caiu 43%, inclusive em linha com a justificativa dada pela própria Vale como alguns dos motivos do seu prejuízo, como informado acima. Por fim, outras duas oscilações repetiram-se nesse período, em comparação com o período anterior. Os investimentos na ferrovia cresceram 49% (no triênio anterior também houve crescimento), e os investimentos no setor de autopeças caíram 46% (ao contrário do que ocorreu no triênio anterior), chegando em 2015 a R\$ 6,85 bilhões na ferrovia (recorde da série histórica) e a R\$ 2,26 bilhões no caso do setor de autopeças, valor próximo do que foi investido uma década atrás. Diferentemente da análise do primeiro período, neste caso existem oscilações positivas e negativas das variáveis no banco de dados original.

No que diz respeito às mudanças no comportamento das interações na rede, observa-se observa-se nova queda dos laços fracos no quarto quartil concentrada em cinco conforme observado no

Gráfico 10 e na Tabela 6: o preço da soja, a participação da ferrovia na matriz de transporte, o volume de carga transportada por caminhões, o investimento no setor de autopeças e o resultado financeiro da Vale. Observou-se, portanto, que nesse período as duas variáveis com as maiores oscilações negativas no banco de dados original são as mesmas que tiveram o comportamento das suas interações na rede mais alterados (investimentos no setor de autopeças e resultado financeiro da Vale), ao contrário do que ocorreu no triênio anterior, quando a maioria das variáveis tiveram oscilação positiva no banco de dados original ao mesmo tempo que não tiveram grandes mudanças no seu comportamento na rede.

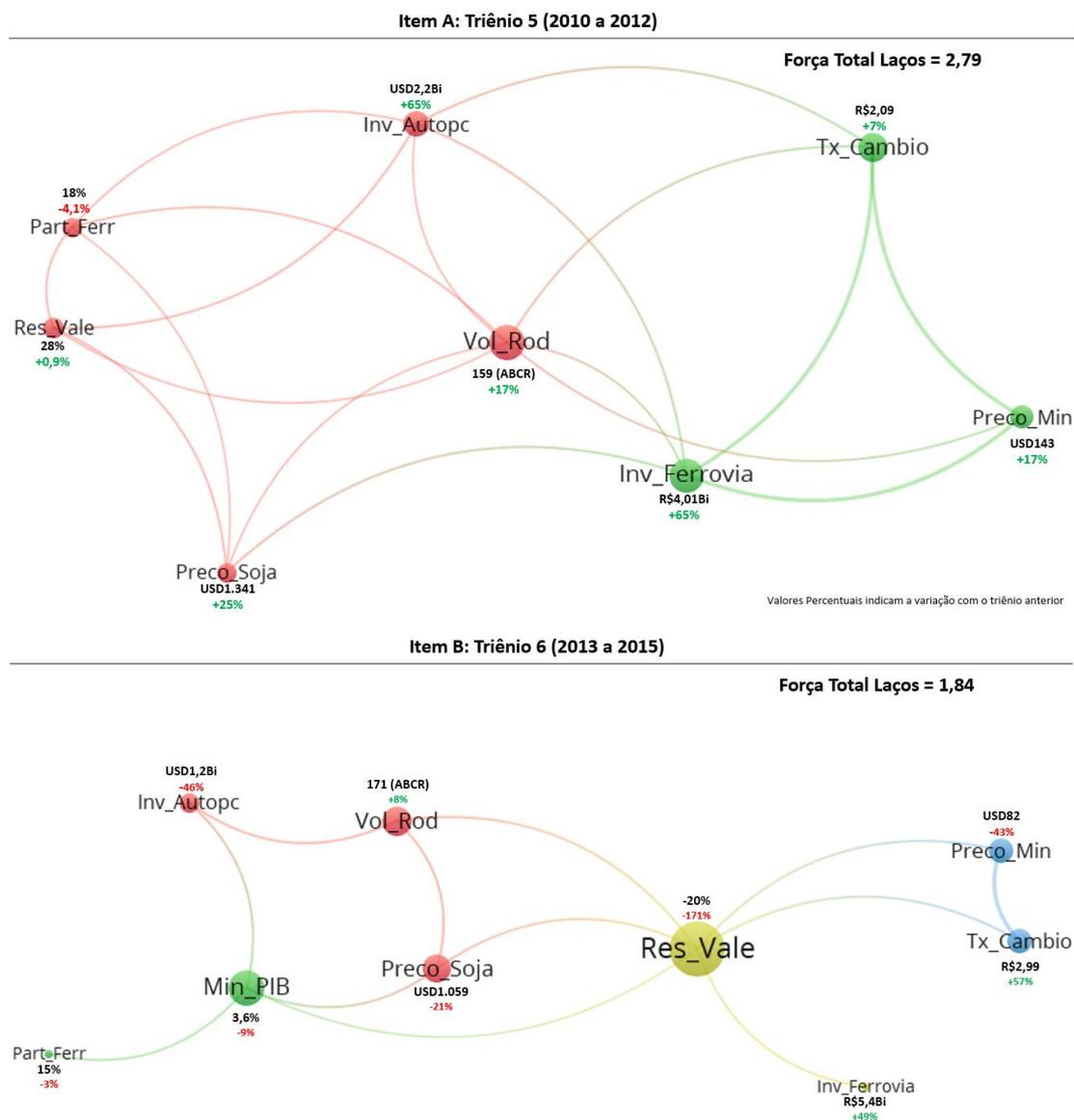
O preço da soja estava ligado a dez laços fracos no quinto triênio e passou a se ligar a apenas três laços fracos no triênio seguinte; a participação da ferrovia na matriz de transportes estava ligada por sete laços fracos, mas restou apenas um único laço no triênio seguinte; as interações com o volume de carga transportada por caminhões também foram reduzidas de 17 laços fracos para cinco laços no triênio seguinte, sendo quatro fracos e um forte, este último ligado ao volume transportado nos portos do Brasil; e as interações com os investimentos do setor de autopeças também se reduziram de 12 laços fracos para apenas dois laços fracos no período. No entanto, caso distinto ocorreu com a variável

resultado financeiro da Vale, que interagiu com apenas 6 laços fracos no quinto triênio e cresceu quase três vezes no triênio seguinte, interagindo com 16 laços fracos na rede.

Em relação ao comportamento das variáveis com base no banco de dados original, notou-se uma queda em todos os indicadores, com exceção do volume de carga transportada por caminhões, que subiu novamente 8% entre o quinto e sexto períodos. O preço da soja saiu de USD1.341 para USD1.059 (queda de 21%); e a participação da ferrovia na matriz de transporte caiu de 18% para 15% (queda de 3%).

Seguindo o mesmo padrão executado anteriormente de recorte dessas variáveis nos dois períodos, a fim de analisar o comportamento da rede, tomando por base as interações que mais flutuaram entre o quinto e sexto triênios, somadas às variáveis que mais oscilaram no banco de dados original, elaborou-se a rede conforme a Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Recorte da rede original com as maiores oscilações de variáveis e interações - Triênios 5 e 6



Fonte: O Autor

Com base na Figura 4, é possível notar mais uma vez que os indicadores que representam o setor ferroviário estão entre os que mais oscilaram no banco de dados original ou no comportamento das suas interações na rede, indicando sua influência na alteração de comportamento da rede. No entanto, neste período, observou-se que a dependência da mineração brasileira em relação à ferrovia reduziu-se, tendo o agronegócio e fatores macroeconômicos passado a exercer também uma influência no comportamento dos investimentos na ferrovia. Comparando o crescimento dos investimentos no setor ferroviário entre o quarto e quinto triênios (2007 a 2009), observa-se um crescimento de 65% nos investimentos. O setor rodoviário, do mesmo modo,

creveu entre o quarto e o quinto triênios: crescimento de 61% dos investimentos na indústria de autopeças e 17% no volume de carga transportada por caminhões. Resumindo, pode-se constatar que o crescimento do setor rodoviário não foi suficiente para contrabalançar a influência positiva do agronegócio, da mineração e da taxa de câmbio no avanço dos investimentos na ferrovia no quinto triênio.

No entanto, mesmo tendo crescido os investimentos na ferrovia entre o quarto e quinto triênios, nota-se que a participação da ferrovia na matriz de transporte caiu. Pelas relações mostradas na rede, o crescimento do setor rodoviário contribuiu para contrabalançar o avanço do transporte ferroviário de cargas no Brasil, que perdeu espaço no quinto (-4,1%) e sexto (-3%) triênios, respaldando os dados apresentados no Gráfico 8 item B, que relaciona o transporte por caminhões e a participação da ferrovia na matriz de transportes no Brasil.

Os pontos seguintes resumem a análise deste período:

1. Diferentemente do período anterior, as mudanças ocorridas na rede não se resumem mais somente à mineração brasileira, tendo surgido contribuições do agronegócio e da taxa de câmbio;
2. O transporte de carga por caminhões inibiu a participação da ferrovia na matriz de transporte brasileira.

4.2.3 Triênios 7 e 8 (2016 a 2021)

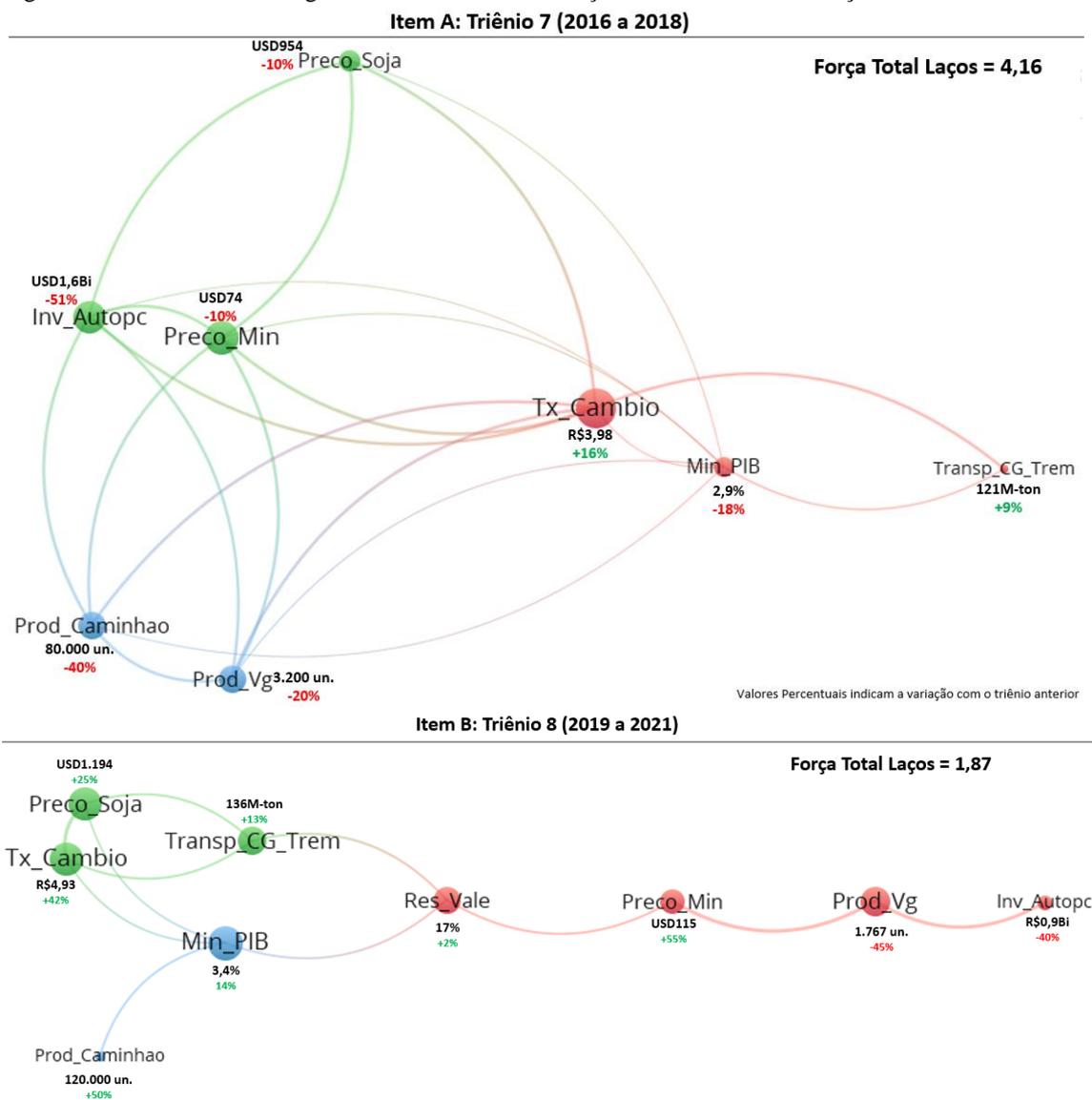
Baseado no banco de dados original, as cinco variáveis que mais oscilaram entre o sétimo e oitavo triênios foram a taxa de câmbio (+95%), os investimentos no setor de autopeças (-40%), o preço do minério (+55%), a produção de caminhões (+50%) e a produção de vagões e locomotivas (-45%). Destas, a taxa de câmbio também foi uma das que mais alteraram o comportamento de suas interações na rede, juntamente a outras três variáveis, a saber: participação da mineração no PIB Brasil, o preço da soja e o transporte de carga geral por via férrea.

No caso das interações na rede, todos os quartis tenderam a crescer os valores médios da medida D. Diferentemente das duas análises anteriores, neste período é possível avaliar uma mudança no comportamento dos laços fortes presentes no primeiro

quartil. Observando a Tabela 6, verifica-se que a participação da mineração no PIB Brasil reduziu de 19 laços fracos para 7, o preço da soja aumentou de 1 laço fraco para 8, a taxa de câmbio aumentou de 1 laço fraco para 7 e reduziu de 9 laços fortes para 1, e o transporte de carga geral por via férrea reduziu de 5 laços fortes para nenhum.

A Figura 5 apresenta a organização da rede para o sétimo e oitavo triênios, considerando o recorte com as variáveis que mais alteraram seus comportamentos na rede, somadas às variáveis que mais oscilaram, tendo por base o banco de dados original.

Figura 5 - Recorte da rede original com as maiores oscilações de variáveis e interações - Triênios 7 e 8



Fonte: O Autor.

Como se pode observar, mais uma vez, os indicadores que representam o setor ferroviário estão inseridos nas maiores oscilações na rede ou no banco de dados original,

interagindo com o setor rodoviário, com fatores macroeconômicos, com a mineração e com o agronegócio. Interessante notar que os preços da soja, do minério e a participação da mineração no PIB Brasil caem no sétimo triênio, juntamente à queda da indústria rodoviária e ferroviária, tendo em vista que a produção de vagões, caminhões e os investimentos no setor de autopeças também caíram. No entanto, a recuperação desses preços no oitavo triênio é acompanhada pelo aumento acentuado da produção de caminhões e da participação da mineração no PIB Brasil, mas a produção de vagões registra nova queda. Ou seja, a produção de caminhões respondeu ao estímulo do aumento de preços da soja e do minério, ao contrário da produção de vagões.

Em relação ao transporte de carga geral por via férrea, é interessante notar três pontos: (i) é a primeira vez que esta variável surge na análise; isso ocorreu devido às mudanças das suas interações na rede; (ii) no oitavo triênio, existe uma ligação com o preço da soja, principal produto transportado na carga geral ferroviária; e (iii) com exceção do sexto triênio, o transporte de carga geral por via férrea vinha crescendo desde o primeiro triênio, acompanhando o crescimento do transporte de minério por via férrea. No entanto, no oitavo triênio, houve uma mudança, pois, enquanto o transporte de carga geral cresceu 13%, o transporte de minério caiu 14%.

Outra relação interessante foi entre a produção de vagões e de caminhões. Observou-se uma diferença acentuada entre a produção de um item para o outro. No oitavo triênio, foram produzidos em média (2019 a 2021) 120.000 caminhões/ano, enquanto a produção de vagões foi de apenas 1.767 unidades/ano, ou seja, 68 vezes menor. Supondo que um vagão transporta a mesma quantidade que quatro caminhões, ainda assim essa diferença é de 17 vezes. Ou seja, pode-se supor que o mercado brasileiro absorveu 17 vezes mais carga por caminhões do que por vagões no oitavo triênio. Essa diferença nunca foi tão alta, embora estivesse caindo. No segundo triênio, a diferença era de 16 vezes, e, no sétimo, havia chegado a 6 vezes, quando mudou a trajetória no oitavo, chegando a 17 vezes, o maior valor do banco de dados.

Por fim, nota-se também uma discrepância no crescimento do transporte de minério e carga geral por via férrea e produção de vagões ao longo de toda a série histórica no banco de dados. Enquanto o transporte por via férrea (minério e carga geral) cresceu sistematicamente entre 1998 e 2020, no que se refere à produção dos vagões para transportar esse material, sublinha-se que houve apenas um momento de crescimento de

aquisição dos vagões no quinto triênio¹⁴. A partir desse triênio, a produção vem sofrendo quedas a cada triênio. No sexto, a queda foi de 1%; no sétimo, de 20%; e no oitavo, de 45%. Ou seja, a produção de vagões no Brasil não é estimulada pelo aumento do transporte por ferrovia.

Os seguintes pontos resumem a análise do sétimo e oitavo triênios:

1. As mudanças ocorridas na rede ocorreram devido à mineração, ao agronegócio, aos fatores macroeconômicos e ao setor rodoviário de cargas;
2. No sétimo triênio, os preços da soja e do minério tiveram queda em linha com a redução da participação da mineração no PIB Brasil, a indústria rodoviária e a indústria ferroviária. No oitavo triênio, todas elas crescem, com exceção da indústria ferroviária, que continua em queda. Ou seja, o aumento dos preços dos principais produtos transportados pela ferrovia não foi estímulo suficiente para alavancar a indústria ferroviária;
3. A produção de caminhões é 68 vezes maior que a de vagões no oitavo triênio, o valor maior da série histórica. Mesmo considerando que um vagão transporta igual a 4 caminhões, esse valor ainda é de 17 vezes mais. Essa diferença vinha caindo desde o segundo triênio (16 vezes) até o sétimo (6 vezes);
4. Só houve um momento no Brasil de grande aquisição de vagões e locomotivas no quinto triênio. Ao contrário do que se poderia supor, não existe uma relação entre o transporte de minério e carga geral por ferrovia e a aquisição de vagões na série histórica.

Resumidamente, observa-se que todas as variáveis selecionadas no nível do setor ferroviário tiveram contribuições nas oscilações da rede. A produção de vagões e locomotivas e os investimentos na ferrovia contribuíram duas vezes, sempre envolvidos com grandes oscilações no banco de dados original. O transporte de minério e de carga geral por via férrea e a participação da ferrovia na matriz de transportes apareceram uma vez cada, em virtude das grandes oscilações de suas interações na rede. O transporte de

¹⁴ No terceiro triênio também houve um crescimento. No entanto, isso se deveu ao fato de que, até o segundo triênio, praticamente não se produziu vagão e locomotiva no Brasil.

minério por via férrea aparece no segundo e terceiro triênios, a participação da ferrovia na matriz de transporte aparece no quinto e sexto triênios, e o transporte de carga geral por via férrea aparece no sétimo e oitavo triênios.

Para finalizar a análise dos dados, é importante também apresentar as variáveis que não surgiram nos grafos, seja em função das oscilações no banco de dados original, seja em função das oscilações de suas interações na rede. O primeiro é o faturamento de veículos automotores, que inclui dados do setor como um todo, não se restringindo ao transporte de cargas. Na rede original da

Figura 2, esta variável aparece em todos os triênios, envolvida por poucas ligações na rede.

Outros dois que não apareceram na rede foram a produção agrícola e a participação do agronegócio no PIB Brasil, embora o preço da soja, que tem uma relação com essas duas, tenha aparecido na análise a partir do quinto triênio. Na rede da

Figura 2, ambas estão envolvidas ao redor de laços fortes em todos os triênios, sobretudo a partir do terceiro triênio.

O volume de carga que passou pelos portos brasileiros entre 1998 e 2021 também não surgiu nos grafos, diferentemente do que se poderia esperar, uma vez que praticamente todo o transporte ferroviário tem seu destino os portos. Suas interações foram poucas em toda a série histórica, com exceção do último triênio, quando aproxima seu comportamento da produção agrícola brasileira, a partir de um laço forte.

Por fim, duas variáveis macroeconômicas igualmente não surgiram na análise dos dados: a variação do PIB brasileiro e a taxa Selic. A primeira manteve sempre poucas ligações na rede original da

Figura 2, e a segunda oscilou, sobretudo, a partir do terceiro triênio, ligando-se fortemente no quarto, sexto e oitavo triênios com diversas variáveis.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo discutir os resultados empíricos da pesquisa à luz da perspectiva coevolutiva. Argumentou-se nesta dissertação que a teoria de redes contribui para a compreensão da dinâmica coevolutiva. Para tanto, relacionaram-se a medida D, por intermédio dos grafos gerados (SCHIEBER *et al.*, 2017), com as propriedades da coevolução (LEWIN, VOLBERDA; 1999) e os mecanismos de amortecimento da dinâmica coevolutiva (MCKELVEY, 2002). Estudar as propriedades e os mecanismos são uma possibilidade de compreender o que ocorreu com a evolução do setor ferroviário brasileiro nos últimos 23 anos e apresentar trajetórias ao longo desse período que amorteceram o desenvolvimento desse setor, bem como o impulsionaram.

5.1 Dinâmica Coevolutiva – Propriedades e Mecanismos de Amortecimento

Coevolução pressupõe a intencionalidade de agentes heterogêneos que têm capacidade de aprender, adaptar-se e interagir mutuamente, além dos efeitos do ambiente e das instituições, em uma relação recursiva e circular. Um dos pressupostos da coevolução é que mudanças em uma variável podem produzir efeitos, eventualmente contra intuitivos, em outras variáveis, diferentemente do que se poderia supor em sistemas lineares (LEWIN; VOLBERDA, 1999; MCKELVEY, 2002).

Os efeitos da dinâmica coevolutiva são imprevisíveis: podem dar lugar, ao longo do tempo, ao desenvolvimento dos atores (coevolução entre a taxa de mutação e o ambiente, coevolução supernormal, coevolução simbiótica), ao equilíbrio entre os atores (coevolução entre a presa e o predador) ou, ainda, ao isolamento e à restrição do desenvolvimento dos atores (endogamia e tamanho da população). Apesar dessa imprevisibilidade, existem mecanismos de amortecimento capazes de auxiliar os agentes a controlá-la (MCKELVEY, 2002)¹⁵. Tendo, assim, em vista a imprevisibilidade dos efeitos da dinâmica coevolutiva e de como os mecanismos de amortecimento podem gerenciar essa imprevisibilidade, pode-se supor que as propriedades sugeridas por

¹⁵ Os tipos de coevolução e os mecanismos de amortecimento da dinâmica coevolutiva já foram apresentados em detalhes no referencial teórico.

LEWIN e VOLBERDA (1999) seriam melhor compreendidas a partir de um aprofundamento na compreensão destes mecanismos usando a teoria de redes.

Um primeiro ponto que se observa nos grafos gerados na análise de dados é seu caráter multinível. Na rede, é possível perceber que as interações envolvem a ferrovia e a mineração em todos os triênios. A partir do terceiro, nota-se a presença do transporte rodoviário de cargas; e a partir do quinto, o agronegócio passa também a se fazer presente na rede. A presença da taxa de câmbio igualmente é notada a partir do quinto triênio, justamente quando esta taxa inicia uma trajetória de crescimento no cenário econômico brasileiro.

A mineração sempre esteve conectada com a ferrovia nos 23 anos analisados. Essa interação se deu, sobretudo, pela influência do preço do minério nos grafos, na maior parte das vezes interagindo através de laços fortes. Isso indica, em primeiro lugar, uma alta similaridade entre os comportamentos da ferrovia e do preço do minério, e ilustra igualmente o efeito amortecedor que essa ligação entre a ferrovia e a mineração gerou na dinâmica coevolutiva, chamado de perda dos laços fracos.

Desenvolvendo ainda mais a interação entre a mineração e o setor ferroviário, pode-se argumentar que, logo após as concessões à iniciativa privada das malhas ferroviárias, o crescimento deste setor esteve atrelado à mineração no Brasil, fenômeno que pode ter inibido seu desenvolvimento no século XXI, haja vista a presença constante de laços fortes desde 1998 até 2021 e a incapacidade do setor em desenvolver outros tipos de produtos para serem transportados. Em resumo, pode-se dizer que, paradoxalmente, o setor que mais alavancou a ferrovia no Brasil no século XXI foi, ao mesmo tempo, o que mais impediu seu desenvolvimento na matriz de transportes do país. Para justificar isso, nota-se que a ferrovia não foi capaz de suprir o transporte de toda a sua produção entre 2002 e 2009, mas, a partir de 2010 até 2021, a produção e o transporte se alinharam, ou seja, as curvas de crescimento tanto da produção quanto o avanço do transporte de minério por ferrovia se aproximaram.

Em contrapartida, percebe-se uma taxa de crescimento do volume transportado nos portos brasileiros quase duas vezes maior quando se compara com a taxa de crescimento do transporte ferroviário total (somando o minério e a carga geral). A referência aos portos é feita porque, do sul ao norte do país, os portos são um destino

comum de todas as ferrovias no Brasil. Além disso, nota-se também uma taxa de crescimento quatro vezes maior da produção agrícola comparada ao transporte de carga geral por ferrovia. Ou seja, apesar de não ter acompanhado a taxa de crescimento da produção de minério no início do século XXI, o crescimento do transporte dessa *commodity* por ferrovia esteve próximo da sua produção no Brasil após 2009. Esse alinhamento, entretanto, não ocorreu entre os volumes transportados por ferrovia e o aumento dos volumes nos portos brasileiros, nem entre o transporte de carga geral por ferrovia e o aumento da produção agrícola no Brasil, que cresceram a uma taxa bem mais elevada que a taxa de crescimento do volume do transporte ferroviário.

No entanto, resta uma variável para ser discutida: o volume de carga transportada por caminhões. Ou, de maneira mais específica, como essa variável afeta a dinâmica coevolutiva entre a produção de minério e o transporte de minério por ferrovia. Como se observou, existe uma relação inversa entre o transporte por caminhões e a participação da ferrovia na matriz de transportes brasileira. Ao mesmo tempo, conforme dito acima, parte da produção de minério no Brasil foi suprida pelo transporte por caminhões entre 2002 e 2009. Observando os grafos, no terceiro triênio, surgiu uma interação que intermediou o vínculo entre a produção de minério e o transporte de minério por ferrovia, que foi o volume de carga transportada por caminhões, uma variável muito central na rede. O fato interessante é que a centralidade do volume de carga transportada por caminhões no terceiro triênio coincide exatamente com o período em que o crescimento da produção de minério no Brasil se descola do transporte de minério por via férrea, mas essa centralidade nos grafos nos triênios seguintes vai reduzindo e desaparece na medida em que a produção de minério no Brasil se reaproxima do transporte de minério por ferrovias. Ou seja, quanto mais se transportou minério por caminhões, maior foi a centralidade do volume de carga transportada por caminhões na rede gerada. Houve, portanto, uma coevolução em três níveis (ferrovia, rodovia e mineração), multidirecional, não linear e simbiótica quando ambos os modais interagiram com a mineração, mas competitiva entre os caminhões e os vagões. Até 2009, quando os dois modais de transporte estavam competindo, observou-se que a capacidade de resposta ao estímulo da produção de minério da indústria rodoviária foi mais rápida do que a indústria ferroviária e, por consequência, tendeu a privilegiar a produção de caminhões.

Essa dependência da mineração observada nos grafos durante todo o período analisado pode ser lida como *path dependence*. É fato que a dependência com a mineração

vai se reduzindo com o tempo, uma vez que se observam nos grafos a influência do preço da soja a partir do quinto triênio (2010 a 2012) e a influência do transporte de carga geral por via férrea a partir do sétimo triênio (2016 a 2018), ambos indicando que o agronegócio (por intermédio do preço da soja) passou a contribuir com mais relevância na ferrovia. Essas interações com o agronegócio brasileiro promovem inicialmente do quinto ao sétimo triênios uma impulsão da dinâmica coevolutiva, através de um mecanismo chamado de ganho de laços fracos, mas, no último triênio analisado, já interagem entre si por intermédio de laços fortes na rede, o que pode ter inibido a dinâmica coevolutiva.

Essas observações feitas por meio da rede podem ser discutidas a partir de um retorno aos fatos da época. No ano de 1996, iniciou-se o processo de concessão das ferrovias brasileiras à iniciativa privada, pertencentes à estatal RFFSA desde a década de 60, quando houve um movimento no Brasil de reestatização das ferrovias em virtude da falência generalizada das operadoras ferroviárias. Três décadas depois, a malha brasileira foi dividida em 6 lotes para serem leiloadas à iniciativa privada: Malha Oeste, Malha Centro-Oeste, Malha Tereza Cristina, Malha Sudeste, Malha Sul e Malha Nordeste. Além dessas malhas, ainda havia a estatal paulista Fepasa, a Estrada de Ferro Carajás, a Estrada de Ferro Vitória-Minas (estas duas operadas pela ainda estatal Vale) e a ferrovia privada Ferronorte (NUNES, 2006). A Vale, principal mineradora do país, reuniu-se com a Railtex para compor um consórcio e comprar a malha oeste da antiga RFFSA (acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19960612-37492-spo-0052-eco-b8-not/tela/fullscreen; acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19960613-37493-spo-0096-eco-b12-not/tela/fullscreen). Para adquirir a Malha Sudeste, foi formado outro consórcio, que levou o nome de MRS Logística, liderado por CSN, MBR, Usiminas e Ferteco, empresas também ligadas, direta ou indiretamente, com a mineração brasileira (acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19960925-37597-spo-0066-mar-4-not/tela/fullscreen). Em 1997, o consórcio Manor, formado por Vale, CSN, Grupo Vicunha e Bradesco, arremataram a Malha Nordeste da RFFSA (acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19960925-37597-spo-0066-mar-4-not/tela/fullscreen). Durante o processo de privatização da Vale, esta empresa manteve a Estrada de Ferro Vitória-Minas no Sudeste e a Estrada de Ferro Carajás no Norte do Brasil (acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19970820-37926-spo-0073-mar-11-not/tela/fullscreen). No mesmo período, a Malha Centro-Leste (que passou a se chamar Ferrovia Centro Atlântica - FCA) também foi entregue a um consórcio formado pela Mineração Tucumã, Vale, Interferrea, CSN, Tupinambara e Railtex,

empresas igualmente ligadas direta ou indiretamente à mineração (<https://acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19970828-37934-spo-0126-eco-b18-not/tela/fullscreen>). Por fim, em 1998, a Fepasa, ferrovia pertencente ao estado de São Paulo que ligava o porto de Santos até Alto Taquari, foi igualmente arrematada em um consórcio liderado pela Vale, consolidando uma posição de destaque em todas as grandes operadoras ferroviárias do país (acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19981111-38375-spo-0034-eco-b4-not/tela/fullscreen), processo que finalizou a transferência das ferrovias brasileiras à iniciativa privada. Resumidamente, com exceção da Malha Sul, todas as outras ferrovias relevantes que foram entregues à iniciativa privada tinham como principais acionistas empresas ligadas à mineração no Brasil, mesmo em trechos em que o principal produto transportado não era o minério de ferro (a Fepasa, por exemplo). A Vale estava presente na participação acionária da maior parte das ferrovias concessionadas nessa época período e fez movimentos para concentrar as operações ferroviárias brasileiras dentro da sua estrutura e liderar a gestão dessas vias (<https://acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19990922-38690-spo-0053-mar-1-not/tela/fullscreen>). Além disso, pode-se perceber também que as operadoras ferroviárias que mais investiram em vagões e locomotivas foram as que estavam envolvidas com mineração no Norte e Sudeste do Brasil (<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2004-09-28/>).

Neste primeiro momento, o que se percebe é uma forte estrutura de comando e controle por parte das empresas de mineração, caracterizando um mecanismo de amortecimento chamado de laços fracos corrompidos. Em sistemas sociais, maior é a tendência dos agentes se replicarem, e mais corrompidos ficam os laços fracos da rede. Alianças estratégicas, reinvenção constante, fusão e aquisição e troca generalizada de comando são alternativas que inundam as organizações de conexões de laços fracos. Em oposição, fortes estruturas de comando e controle criam laços fortes entre os agentes que amortecem a dinâmica coevolutiva. Na rede que representa este período, pode-se notar, por um lado, a ligação por laços fortes (que inibem a dinâmica coevolutiva) entre o preço do minério, a produção de vagões e os investimentos na ferrovia e, por outro, nota-se igualmente a interação forte entre a produção de minério e o transporte de minério por via férrea.

Além do aspecto Multinível e da *Path Dependence*, os grafos são capazes de ilustrar também uma relação multidirecional das interações em todos os períodos. Por

exemplo, no segundo triênio, o preço do minério esteve fortemente ligado à produção de vagões e aos investimentos na ferrovia. No entanto, a produção de vagões também tinha uma ligação forte com os investimentos no setor de autopeças que, por sua vez, ligava-se fracamente com a produção de minério, nó que dissemina seus laços fracos para toda a rede. Exemplos como esse podem ser encontrados em todos os grafos. Isso significa que a interação entre os agentes na rede não é linear, mas segue caminhos em várias direções.

A não linearidade também foi observada na rede em todos os triênios analisados, sobretudo no segundo, tendo em vista que as maiores variações no comportamento das interações na rede não foram necessariamente geradas pelas variações ocorridas nas variáveis no banco de dados original. Por exemplo, entre o segundo e o terceiro triênios, as maiores variações no banco de dados original foram da produção de vagões, investimentos em ferrovia, resultado financeiro da MRS, investimentos no setor de autopeças e o preço do minério. No entanto, os aspectos que mais alteraram o comportamento das suas próprias interações na rede, seja perdendo ou ganhando laços, foram a produção de minério, a participação da mineração no PIB Brasil, o transporte de minério por via férrea e o volume de carga transportada por caminhões. Ou seja, as variações em algumas variáveis causaram efeitos em outras variáveis.

Nota-se também, a partir de 2003, a incapacidade produtiva da indústria ferroviária, adormecida por décadas, para atender praticamente as demandas da mineração, especialmente a Vale. Observa-se, neste período, uma necessidade de vagões demandada pela Vale maior que a capacidade de produção interna brasileira, fato que forçou esta empresa a adquirir da China 1/3 do total de vagões entregues em 2003 (<https://acervo.estadao.com.br/pagina/#!/20030816-40114-spo-26-eco-b5-not/busca/Ferrovi%C3%A11>). O crescimento da produção de vagões continua nos anos de 2004 e 2005, chegando ao maior patamar de vagões produzidos no país considerando a série histórica. No entanto, não se verifica que o aumento de vagões de minério no país tenha sido capaz de aumentar o transporte de minério por ferrovia na mesma proporção que cresceu a produção de minério no mesmo período. Conclui-se, portanto, que, se por um lado, a indústria ferroviária se voltou quase que exclusivamente à mineração até fins da primeira década, por outro lado, o incremento de vagões de minério nas ferrovias não foi capaz de alavancar o transporte por via férrea na mesma proporção que a produção desta *commodity* até fins de 2009, quando finalmente a produção de minério começa a se aproximar do transporte de minério por ferrovia. Esse *path dependence*, que teve lugar

entre 1998 e 2010 na indústria ferroviária, direcionou os esforços em tecnologia, engenharia e desenvolvimento de materiais para a construção de vagões para o transporte de minério.

No quinto triênio, as interações da ferrovia com a mineração e o transporte por caminhões permanecem, mas surge também uma interação por laços fortes com a taxa de câmbio e uma interação por laços fracos com o preço da soja, que estarão presentes nos grafos até o último triênio analisado. Isso indica uma interação maior da ferrovia com o ambiente econômico (taxa de câmbio) e com o agronegócio (preço da soja). Em paralelo, a produção de minério e o transporte de minério por ferrovia deixam de fazer parte do grafo neste triênio, reforçando o distanciamento com a mineração, muito embora o preço do minério esteja presente na rede em todos os triênios. Ou seja, a mineração continua presente nas interações com a ferrovia, mas fatores econômicos e do agronegócio passam a interagir na rede a partir do quinto triênio.

De fato, a Vale reduz sua presença de comando nas ferrovias a partir do quinto triênio, conforme observado pelo aumento dos laços fracos nos grafos, e contribui para a redução da presença da mineração na ferrovia. Logo após as concessões, a Vale fez várias aquisições de ferrovias e liderou a operação de várias delas (como mostrado acima). Mas, já em 2003, houve uma cisão das malhas da antiga Fepasa, e a Vale se absteve das operações de toda a malha paulista (principal corredor de escoamento de grãos do país), ficando apenas com a operação dos trechos de Iperó a Apiaí e de Rubião Junior a Presidente Epitácio, sob a gestão da sua controlada FCA (https://pt.wikipedia.org/wiki/Ferrovia_Bandeirantes_S/A). Em 2007, a Vale adquiriu o trecho norte da Ferrovia Norte Sul, mas, já em 2010, cede toda essa operação e a da FCA à VLI Logística, que também opera dentro da Estrada de Ferro Vitória Minas e Estrada de Ferro Carajás, ambas pertencentes à Vale.

Outro exemplo que respalda uma presença maior do agronegócio nos grafos através de interações por laços fracos diz respeito à aquisição da Brasil Ferrovias e da Novoeste pela ALL em 2006. Estas duas malhas são estratégicas na ligação da região Centro-Oeste ao porto de Santos, principal corredor de escoamento de grãos no Brasil. Esse transporte está concentrado nas mãos de uma única empresa que opera as malhas norte, oeste, sul e paulista, concentrando 75% da malha brasileira e 78% das exportações de grãos no país. Em 2015, a ALL se fundiu com a Rumo Logística, empresa que

atualmente opera essas malhas (pt.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9rica_Latina_Log%C3%ADstica_S/A). Fusões, aquisições e alianças estratégicas são mecanismos de impulsão da dinâmica coevolutiva, conforme observado por MCKELVEY (2002). De acordo com o autor, alianças estratégicas, reinvenção constante, fusão e aquisição e troca generalizada de comando são alternativas que inundam as organizações de conexões de laços fracos e mitigam o amortecimento da dinâmica coevolutiva.

Outro ponto interessante é a coevolução não linear, multinível e multidirecional observada na rede entre um agrupamento que consiste nos investimentos do setor de autopeças e os investimentos na ferrovia (concorrentes entre si), a produção de vagões e a produção de caminhões (concorrentes entre si), e o preço do minério e a taxa de câmbio (grandezas econômicas). Observa-se que o preço do minério é uma grandeza que direciona os investimentos da indústria de autopeças. Essa interação está presente nos grafos em todos os triênios analisados, mas também pode ser observada na comparação do comportamento dessas duas variáveis no banco de dados original desde 1998 até 2021. Nos grafos, nota-se igualmente uma similaridade alta (laços fortes) entre o preço do minério e os investimentos na ferrovia, embora no banco de dados original não se perceba uma proximidade no comportamento dessas duas variáveis. No entanto, entre os investimentos na ferrovia e os investimentos no setor de autopeças, existe, até o ano de 2013, uma proximidade de comportamento quando se olha para o banco de dados original, conforme apresentado na Tabela 3. Além disso, os grafos também indicam uma ligação entre os investimentos na ferrovia e os investimentos no setor de autopeças, sobretudo por laços fracos, até o ano de 2013, quando os investimentos no setor de autopeças começam a cair e os investimentos na ferrovia ainda resistem mais dois anos para, enfim, também começarem a cair a partir de 2016. Observando os grafos, verifica-se que a taxa de câmbio passa a fazer parte da rede a partir do quinto triênio em diante (2010 a 2012), e é justamente a partir de 2013 que a taxa de câmbio começa a crescer no Brasil, data a partir da qual as curvas dos investimentos na ferrovia e do preço do minério se descolam do comportamento dos investimentos no setor de autopeças. Por outro lado, é justamente a partir de 2013 que o comportamento da taxa de câmbio se aproxima do comportamento dos investimentos no setor de autopeças e da produção de caminhões.

Em se tratando da produção de caminhões, é possível observar uma interação na rede com os investimentos no setor de autopeças a partir de 2016 e, igualmente, uma proximidade de comportamento desde 1998 até 2021. No entanto, pela análise, não existe

uma proximidade de comportamento entre a produção de vagões e a produção de caminhões, embora ambos sejam concorrentes entre si, conforme já mostrado anteriormente. O ponto de interesse é que o comportamento entre a produção de vagões e os investimentos no setor de autopeças é próximo, algo não intuitivo a princípio, uma vez que pertencem a setores distintos. E esses investimentos também têm um comportamento próximo à produção de vagões. Ou seja, embora não haja uma ligação direta entre a produção de vagões e a produção de caminhões, é possível notar que o investimento no setor de autopeças é um elemento comum que as vinculam. A produção de vagões, por sua vez, interage também na rede com os investimentos em ferrovia, o que parece ser mais coerente. Isso também se observa na proximidade de comportamento no banco de dados original entre as duas variáveis desde 1998 até 2021.

Portanto, diante de tais constatações, é possível perceber uma dinâmica coevolutiva não linear e competitiva (produção de vagões e caminhões de um lado e os investimentos em ferrovia e no setor de autopeças de outro), multinível (ferrovia, mineração, rodovia e ambiente econômico) e simbiótica (produção de vagões, investimentos em ferrovia e investimentos no setor de autopeças). Observa-se também a presença frequente e oscilante de mecanismos que ora amorteceram, ora impulsionaram essa dinâmica ao longo da série histórica, através da presença dos laços fortes e fracos nos grafos. Por exemplo, os investimentos em ferrovia e os investimentos no setor de autopeças sempre interagiram por intermédio de laços fracos, indicando que ambos contribuíram para a impulsão da dinâmica coevolutiva. Já a produção de vagões oscilou entre laços fortes e fracos, tanto com sua interação com os investimentos em ferrovia quanto com sua interação com os investimentos no setor de autopeças. Outro exemplo se deu entre as interações predominantemente ligadas por laços fracos entre o preço do minério e os investimentos no setor de autopeças ao longo de toda a série histórica representada pelos grafos. A presença dos laços fortes e fracos na rede permite avaliar entre quais agentes a dinâmica coevolutiva é impulsionada ou amortecida e seu comportamento ao longo do tempo permite inferir sobre quais mecanismos e propriedades estão presentes nas interações entre estes agentes.

No próximo capítulo, apresentam-se as considerações finais, retomando a pergunta e, principalmente, os objetivos — geral e específicos — da pesquisa. Analisam-se ainda as contribuições desta pesquisa para a perspectiva da coevolução, em particular para os seus mecanismos e propriedades, e também as lacunas deste estudo. Por fim,

sugerem-se pesquisas futuras que tenham o propósito de discutir a dinâmica coevolutiva a partir de métodos quantitativos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte por ferrovias sobrepõe-se ao transporte rodoviário no que se refere aos atrativos ambientais, econômicos e sociais. O Brasil, dadas suas características geográficas e econômicas, é mais apropriado ao transporte ferroviário do que ao rodoviário. Apesar disso, não se observou um avanço desse tipo de modal na matriz de transporte brasileira entre 1998 e 2021, mantendo números bem inferiores, quando comparados com outros países, cujas dimensões ou estrutura econômica são similares às do Brasil. Nota-se que a privatização das malhas ferroviárias em meados dos anos 1990 tinha, ao menos em tese, o intuito de fomentar investimentos, logo, expansão, nesse modal. Quase três décadas mais tarde, a situação pouco se alterou.

Propôs-se nesta pesquisa avaliar a dinâmica coevolutiva entre a ferrovia brasileira e o ambiente econômico no Brasil desde 1998 até 2021. As variáveis relevantes que contribuíram com essa dinâmica foram identificadas, as interações entre as variáveis foram descritas, e os mecanismos e as propriedades da coevolução foram analisados e discutidos. Para alcançar esses objetivos, a dissertação tomou como base o conteúdo de três artigos: o primeiro, sobre a medida D , que afere dispersões em redes complexas, proposta por SCHIEBER *et al.* (2017); o segundo, sobre as propriedades da coevolução, elencadas por LEWIN e VOLBERDA (1999); e o terceiro, sobre os mecanismos propostos por MCKELVEY (2002).

A Medida D mede a interação entre dois nós na rede, e, quanto mais próximo de zero, maior similaridade existe entre estes nós. Essa medida é capaz de capturar interações não lineares entre as variáveis, que os métodos de regressão tradicionais não conseguem. Um valor de D exatamente igual a zero representa a mesma distribuição de distância entre os nós, a mesma dispersão e a mesma centralidade dos nós (SCHIEBER *et al.*, 2017). Portanto, quanto mais baixo o valor de D , mais forte é o laço de ligação entre dois nós na rede e, quanto maior o valor de D , mais fraca é a ligação entre os nós.

Um laço fraco impulsiona a dinâmica coevolutiva na rede, e um laço forte a amortece. Laços fracos entre agentes permitem a produção de inovação e

empreendedorismo, e os laços fortes produzem pensamento de grupo e homogeneidade entre os agentes, que amortecem a dinâmica coevolutiva (MCKELVEY, 2002).

Para compor o modelo, foram selecionadas 21 variáveis relacionadas com a ferrovia, com a mineração, com o agronegócio, com o setor rodoviário de cargas e com o ambiente econômico brasileiro. Os dados foram tratados no *software* R, gerando uma matriz com 210 interações entre as variáveis para cada um dos 23 anos analisados, totalizando um banco de dados com 4.830 valores de D. Os dados foram divididos em laços fortes e fracos para organizar os grafos trienalmente. Após a geração dos grafos, foi feito um novo recorte, identificando as variáveis que mais contribuíram para as mudanças de comportamento da rede ao longo do tempo. As interações relevantes desse recorte foram descritas, juntamente à discussão das propriedades e dos mecanismos que caracterizam a dinâmica coevolutiva.

Os principais resultados da pesquisa indicam, primeiro, que 23 anos de dependência da ferrovia em relação ao setor de mineração contribuíram para inibir o desenvolvimento desse modal de transportes no Brasil. Principalmente, logo após o início das concessões, notou-se uma forte presença de comando e controle das empresas mineradoras no quadro de acionistas e na gestão direta das principais malhas ferroviárias brasileiras. Esse fato abriu espaço para o transporte de cargas por caminhões. Até 2009, observou-se que a capacidade de resposta ao estímulo da produção de minério da indústria rodoviária foi mais rápida do que a indústria ferroviária e, por consequência, tendeu a privilegiar a produção de caminhões em detrimento da fabricação de vagões e locomotivas.

Segundo, notou-se que os preços do minério de ferro e da soja são estímulos para a dinâmica de investimentos no setor rodoviário e na ferrovia no Brasil. A presença do agronegócio como estímulo ao desenvolvimento da ferrovia começa a ser percebida com mais relevância a partir de 2010. Terceiro, observou-se que o incremento na quantidade de vagões e locomotivas nas malhas ferroviárias brasileiras não foi suficiente para estimular o aumento do transporte por via férrea na mesma proporção.

Finalmente, verificou-se a presença de uma dinâmica coevolutiva operando em múltiplos níveis (setor rodoviário, setor ferroviário, mineração, agronegócio e ambiente econômico), com interações multidirecionais e não lineares entre os elementos na rede,

cujas ligações ora amorteceram, ora impulsionaram a dinâmica coevolutiva ao longo de todo o período analisado.

Argumenta-se que a metodologia utilizada pode agregar à pesquisa teórica sobre coevolução na área das ciências administrativas, no sentido de aprimorar os critérios de análise dos fenômenos coevolutivos observados. Poucos trabalhos quantitativos foram publicados sobre dinâmica coevolutiva (ABATECOLA; BRESLIN; KASK, 2020). Até onde foi possível identificar, a proposta de integrar a dinâmica coevolutiva com a medida de dispersão D ainda não havia sido explorada nos trabalhos de coevolução nas ciências administrativas. A teoria de redes e as medidas de dissimilaridade podem ampliar o conhecimento e a compreensão da dinâmica coevolutiva a partir de critérios quantitativos de interação entre os agentes.

Em relação às implicações para o setor ferroviário brasileiro, a pesquisa oferece alguns *insights* sobre o comportamento do setor e as influências do ambiente econômico. Ou seja, o resultado observado no presente não foi uma função única das influências do ambiente econômico e setorial durante todo esse tempo. Por outro lado, as decisões ou omissões dos atores envolvidos diretamente com a ferrovia também tiveram relevância explicando a posição que a ferrovia ocupa atualmente no cenário brasileiro de transportes.

Como toda pesquisa científica, esta também tem lacunas. A primeira é seu caráter exploratório. As variáveis selecionadas para compor o modelo representam informações de setores inteiros ou da própria economia brasileira, sem detalhar temas específicos de relação com a ferrovia. Percebeu-se que, quanto mais distante da ferrovia, menor a presença nos grafos. Por exemplo, o volume nos portos não fez distinção do tipo de carga ou da localização dos portos no Brasil, o que pode ter influenciado a ausência dessa variável nos grafos. Outro exemplo diz respeito às variáveis econômicas. De todas as selecionadas, somente a taxa de câmbio e a participação da mineração no PIB brasileiro apareceram interagindo na rede. Ainda outra lacuna foi a impossibilidade de estabelecer uma relação de *feedbacks* positivos ou negativos entre as interações nos grafos. Nem sempre as interações nos grafos apresentam correlação estatística entre as variáveis que estão interagindo. Sugere-se, assim, que trabalhos futuros explorem alternativas e/ou meios para estabelecer relações diretas ou inversas entre as interações nos grafos. Esse seria um primeiro passo para compreender os *feedbacks* positivos e negativos na rede. Ainda outra sugestão seria observar as redes sob a ótica de sistemas adaptativos ao longo

do tempo e propor modelos de análise de interações em sistemas sociais complexos, tendo por base medidas de dispersão e a dinâmica coevolutiva. De acordo com MCKELVEY (2002), dinâmicas coevolutivas não podem ser previstas, mas existem mecanismos que atuam nestes sistemas que podem ser gerenciados. E se podem ser gerenciados, podem igualmente ser modelados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATECOLA, Gianpaolo; BRESLIN, Dermot; KASK, Johan. Do organizations really co-evolve? Problematizing co-evolutionary change in management and organization studies. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 155, n. January, p. 119964, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119964>

ABATECOLA, Gianpaolo; MARI, Michela; POGGESI, Sara. How can virtuous real estate public-private partnerships be developed? Towards a co-evolutionary perspective. **Cities**, [s. l.], v. 107, n. August, p. 102896, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102896>

ANDERSON, Philip. Complexity Theory and Organization Science. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 216–232, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.3.216>

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES. [s. l.], 2020.

BARABÁSI, Albert-László et al. Network Science. United Kingdom: Cambridge University Press, 2016. 456 p.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 4. ed. Lisboa: Edições 70, 2010.

BAUM, Joel A C; SINGH, Jitendra. **Organization-Environment Coevolution**. [S. l.: s. n.], 1994.

BELMIRO BURIN, Candice; FABIANA GOHR, Claudia; COSTA SANTOS, Luciano. a Coevolução Dos Contextos Macroambiental E Setorial Das Organizações Sucroalcooleiras No Período 2000 a 2010. **Enegep**, [s. l.], 2012.

CHILD, John; TSE, Kenneth; RODRIGUES, Suzana. **The Dynamics of Corporate Co-evolution**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4337/9781849807449>

CNT. Acidentes Rodoviários. [s. l.], 2019.

DADOS, D E Bases D E; SETOR, D O. Plano Decenal De Energia Consolidação De Bases De Dados Do. [s. l.], 2012.

DIJKSTERHUIS, Marjolijn S.; VAN DEN BOSCH, Frans A.J.; VOLBERDA, Henk W. Where Do New Organizational Forms Come From? Management Logics as a Source of Coevolution. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 569–582, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.5.569>

DUARTE, Roberto Gonzalez; RODRIGUES, Suzana Braga. Co-evolution of industry strategies and government policies: The case of the brazilian automotive industry. **BAR - Brazilian Administration Review**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 1–28, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-7692bar2017160100>

DURÇO, Fábio Ferreria. A regulação do Setor Ferroviário Brasileiro. **Arraes Editores**. Belo Horizonte, 2015.

DURHAM, William H. Interactions of genetic and cultural evolution: Models and examples. **Human Ecology**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 289–323, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01531188>

DURHAM, William H. The adaptive significance of cultural behavior. **Human Ecology**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 89–121, 1976. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01531215>

EHRlich, Paul R.; RAVEN, Peter H . Butterflies and Plants : A Study in Coevolution Author (s): Paul R . Ehrlich and Peter H . Raven Reviewed work (s): Published by : Society for the Study of Evolution Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2406212> . **Evolution**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 586–608, 1964.

FATAS-VILLAFRANCA, Francisco; SANCHEZ-CHOLIZ, Julio; JARNE, Gloria. Modeling the co-evolution of national industries and institutions. **Industrial and Corporate Change**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 65–108, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/dtm039>

FERROVIÁRIA, Revista. Anuário Revista Ferroviária. [s. l.], p. 283, 2019.

FREEMAN, Linton C. Some antecedents of social network analysis. *Connections*, v. 19, n. 1, p. 39-42, 1996.

GOHR, Cláudia Fabiana; SANTOS, Luciano Costa. Análise da Mudança Estratégica sob a Ótica da Coevolução: um estudo em uma organização do setor elétrico brasileiro.

Sociedade, Contabilidade e Gestão, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 106–126, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.21446/scg_ufrj.v8i2.13293

HAVEMAN, Heather A.; RAO, Hayagreeva. Structuring a theory of moral sentiments: Institutional and organizational coevolution in the early thrift industry. **American Journal of Sociology**, [s. l.], v. 102, n. 6, p. 1606–1651, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/231128>

KOZA, Mitchell P.; LEWIN, Arie Y. The Co-evolution of Strategic Alliances. **Organization Science**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 255–264, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.9.3.255>

KOZA, Mitchell P.; LEWIN, Arie Y. The Coevolution of Network Alliances: A Longitudinal Analysis of an International Professional Service Network. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 638–653, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.5.638>

LEVINTHAL, Daniel; MYATT, Jennifer. Co-Evolution of Capabilities and Industry: The Evolution of Mutual Fund Processing. **Strategic Management Journal**, [s. l.], v. 15, n. 1 S, p. 45–62, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/smj.4250150905>

LEWIN, Arie Y.; LONG, Chris P.; CARROLL, Timothy N. The Coevolution of New Organizational Forms. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 535–550, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.5.535>

LEWIN, Arie Y.; VOLBERDA, Henk W. Prolegomena on Coevolution: A Framework for Research on Strategy and New Organizational Forms. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 519–534, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.5.519>

MARUYAMA, Magoroh. The Second Cybernetics. **American Scientist**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 164–179, 1963. Disponível em: <http://cleamc11.vub.ac.be/books/Maruyama-SecondCybernetics.pdf>

MCKELVEY, Bill. Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 294–321, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.3.294>

MCKELVEY, Bill. Managing coevolutionary dynamics. **18th EGOS Colloquium**, [s. l.], n. 4-6 July, p. 1–20, 2002. Disponível em: https://elearning.uol.ohecampus.com/bbcswebdav/institution/UKL1/DBA/201420_30/KDBA_305/readings/KDBA_305_Week03_McKelvey.pdf

MCKELVEY, Bill. Organization Science. **Organization Science**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 391–392, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.12.3.391.10102>

MILGRAM, S. The small-world problem. *Psychology Today*, v. 1, n. 1, p. 61-67, 1967.

MINFRA. Plano Nacional de Logística PNL 2035 - Relatório Executivo (Versão Preliminar). **Ministério da Infraestrutura - MInfra**, [s. l.], p. 159, 2021.

MOON, Katie; BLACKMAN, Deborah. A Guide to Understanding Social Science Research for Natural Scientists. **Conservation Biology**, [s. l.], v. 28, n. 5, p. 1167–1177, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cobi.12326>

MORENO, Jacob Levy. Who shall survive? A new approach to the problem of human interrelations. Washington D.C.: Nervous and Mental Disease Publishing Co., 1934. 457

MURMANN, Johann Peter. The coevolution of industries and important features of their environments. **Organization Science**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 58–78, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.1110.0718>

NELSON, Richard R. The co-evolution of technology, industrial structure, and supporting institutions. **Industrial and Corporate Change**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 47–63, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/3.1.47>

NETO, Carlos Alvares Da Silva Campos *et al.* Infraestrutura Ferroviária E Os Investimentos Do Pac. **Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República**, [s. l.], p. 46, 2010.

NORGAARD, R. B. Coevolutionary development potential. **Land Economics**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 160–173, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3145970>

NORGAARD, Richard B. Sociosystem and ecosystem coevolution in the amazon. **Journal of Environmental Economics and Management**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 238–254, 1981. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0095-0696\(81\)90039-5](https://doi.org/10.1016/0095-0696(81)90039-5)

NORGAARD, Richard B. Sustainable development: A co-evolutionary view. **Futures**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 606–620, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(88\)90003-1](https://doi.org/10.1016/0016-3287(88)90003-1)

NUNES, Ivanil. Ferrovia brasileira: concessão pública para uso privado. *Revista Iberoamericana de Estratégia*, vol. 5, n. 2, 2006, pp. 109-119.

PACHECO, Desirée F.; YORK, Jeffrey G.; HARGRAVE, Timothy J. The coevolution of industries, social movements, and institutions: Wind power in the United States. **Organization Science**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 1609–1632, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.2014.0918>

PORTER, Terry B. Coevolution as a research framework for organizations and the natural environment. **Organization and Environment**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 479–504, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1086026606294958>

QUITZOW, Rainer. Dynamics of a policy-driven market: The co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 17, p. 126–148, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.12.002>

SAKANO, Tomoaki; LEWIN, Arie Y. Impact of CEO Succession in Japanese Companies: A Coevolutionary Perspective. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 654–671, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.5.654>

VAN DEN BOSCH, Frans A.J.; VOLBERDA, Henk W.; DE BOER, Michiel. Coevolution of Firm Absorptive Capacity and Knowledge Environment: Organizational Forms and Combinative Capabilities. **Organization Science**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 551–568, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.5.551>

WARING, Timothy M.; GOFF, Sandra H.; SMALDINO, Paul E. The coevolution of economic institutions and sustainable consumption via cultural group selection. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 131, p. 524–532, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.09.022>

WATANABE, Chihiro; NAVEED, Kashif; NEITTAANMÄKI, Pekka. Co-evolution of three mega-trends nurtures un-captured GDP - Uber's ride-sharing revolution.

Technology in Society, [s. l.], v. 46, p. 164–185, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.06.004>

XIN, Xiao Rui; MOSSIG, Ivo. Co-evolution of institutions, culture and industrial organization in the film industry: the case of Shanghai in China. **European Planning Studies**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 923–940, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1300638>

YATES, JoAnne. Co-evolution of Information-Processing Technology and Use: Interaction between the Life Insurance and Tabulating Industries. **Business History Review**, [s. l.], v. 67, n. 1, p. 1–51, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3117467>

8 ANEXOS

8.1 Anexo I - Funções

```
library(igraph)
```

```
library('Matrix')
```

```
nodedist<-function(g){
```

```
  m<-shortest.paths(g,algorithm=c("automatic"))
```

```
  N<-length(degree(g))
```

```
  matres<-Matrix(0, nrow = N, ncol = N, sparse = TRUE)
```

```
  for (i in (1:N)){
```

```
    matres[i,1:N]<-hist(m[i,1:N],plot=FALSE,breaks=(0:N))$counts
```

```
    matres[i,1]<-matres[i,1]-1
```

```
    matres[i,N]<-N-1-sum(matres[i,1:N])
```

```
    #print(i)
```

```
  }
```

```
  matres/(N-1)
```

```
}
```

```
entropia<-function(a)
```

```
{  
  a<-a[which(a>0)];  
  -sum(a*log(a));  
}  
  
diversidade<-function(a){  
  
  div=0  
  
  while(length(a)>1){  
  
    n=sqrt(length(a))  
  
    a[matrix(c(1:n,1:n),ncol=2)]=1  
  
    div=div+min(a)  
  
    escolhas=ceiling(which(a==min(a))/n)  
  
    b=a[escolhas,]  
  
    r<-c()  
  
    for(j in (1:length(escolhas)))}
```

```
r<-c(r,sort(b[j,])[2])

}

quem=order(r)[1]

quem=escolhas[quem]

a=a[setdiff(1:n,quem),setdiff(1:n,quem)]

n=sqrt(length(a))

}

return(div)

}

diversidade2<-function(a){

div=0

while(length(a)>1){
```

```
n=nrow(a)

a[matrix(c(1:n,1:n),ncol=2)]=1

div=div+min(a)

c=sapply(as.data.frame(a),sort)

c=c[,which(c[1,]==min(c[1,]))]

b=a[names(which(sapply(as.data.frame(a),min)==min(a))),]

sapply(as.data.frame(t(b)),sort)

escolhas=ceiling(which(a==min(a))/n)

b=a[escolhas,]

r<-c()

for(j in (1:length(escolhas))) {

  r<-c(r,sort(b[j,])[2])

}
```

```
quem=order(r)[1]
```

```
quem=escolhas[quem]
```

```
a=a[setdiff(1:n,quem),setdiff(1:n,quem)]
```

```
n=sqrt(length(a))
```

```
}
```

```
return(div)
```

```
}
```

```
Diversidade=function(a){
```

```
div=c()
```

```
seq=c()
```

```
while(ncol(a)>2){
```

```
  b=a
```

```
b[matrix(rep(1:nrow(b),2),ncol=2)]=1
```

```
b=as.data.frame(b)
```

```
b=sapply(b,sort)
```

```
b=as.matrix(b)
```

```
b=b[,which(b[1,]==min(b[1,]))]
```

```
possiveis=colnames(b)
```

```
t=2
```

```
while(length(possiveis)>1&&t<nrow(b)){
```

```
  possiveis=possiveis[which(b[t,]==min(b[t,]))]
```

```
  t=t+1
```

```
}
```

```
div=c(div,min(b))
```

```
seq=c(seq,possiveis[1])
```

```
a=a[setdiff(colnames(a),possiveis[1]),setdiff(colnames(a),possiveis[1])]

}

div=c(div,a[1,2])

seq=c(seq,colnames(a))

return(list(div,seq))

}

renormalizo=function(b){

b[matrix(rep(1:nrow(b),2),ncol=2)]=1

b=b/colSums(b)

b=t(b)

return(b)

}
```

8.2 Anexo II – Rotinas

```
setwd("D:/important_files/FERROVIA")
```

```
library(readxl)
```

```
source("funcoes.r")
```

```
Sqrt=function(v){
```

```
  if(v<=0){return(0)}
```

```
  if(v>0){return(sqrt(v))}
```

```
}
```

```
df=read_excel("BD1.xlsx",2)
```

```
View(df)
```

```
#df=na.omit(df)
```

```
#heatmap(1-abs(cor(df)))
```

```
#Primeiro uma análise de correlação
```

```
for(coluna in 2:ncol(df)){
```

```
  vec=df[[names(df)[coluna]]]
```

```
  ano=df[[names(df)[1]]]
```

```
  ano=as.character(ano)
```

```
  ano=ano[which(is.na(vec)!=TRUE)]
```

```
  vec=vec[which(is.na(vec)!=TRUE)]
```

```
  tam=length(vec)
```

```
  A=matrix(rep(vec,tam),ncol=tam)
```

```
  d=abs(A-t(A))
```

```
  d=d+1
```

```
  d[matrix(rep(1:ncol(d),2),ncol=2)]=0
```

```

colnames(d)=ano
rownames(d)=ano

g=graph.adjacency(d,mode=c("undirected"),weighted=TRUE)

h=mst(g,weights=E(g)$weight)

k=max(E(h)$weight)

g=delete.edges(g,which(E(g)$weight>k))

sorteado=sort(E(g)$weight)

sorteado=intersect(sorteado,sorteado)

sorteado=sort(sorteado,decreasing=TRUE)

r=c()

for(k in sorteado){

  h=delete.edges(g,which(E(g)$weight>=k))

  E(h)$weight=1

  d=nodedist(h)

  r=c(r,(entropia(colMeans(d))-
entropia(d)/nrow(d))/log(max(c(1,length(which(colMeans(d)>0))))+1))

}

k=sorteado[which(r==max(r))[1]]

g=delete.edges(g,which(E(g)$weight>=k))

eval(parse(text=sprintf("g_%d=g",coluna)))

print(coluna)

}

NUM=ncol(df)-1

a=matrix(0,ncol=NUM,nrow=NUM)

```

```

for(i in 1:(NUM-1)){
  for(j in (i+1):NUM){
    eval(parse(text=sprintf("b=(g_%d)",i+1)))
    E(b)$weight=1
    b=shortest.paths(b)
    b=1/b
    b[matrix(rep(1:nrow(b),2),ncol=2)]=1
    b1=b
    eval(parse(text=sprintf("b=(g_%d)",j+1)))
    E(b)$weight=1
    b=shortest.paths(b)
    b=1/b
    b[matrix(rep(1:nrow(b),2),ncol=2)]=1
    q=intersect(colnames(b),colnames(b1))
    b=b[q,q]
    b1=b1[q,q]
    b=b/colSums(t(b))
    b1=b1/colSums(t(b1))
    v=Sqrt(((entropia((b+b1)/2)-(entropia(b)+entropia(b1))/2)/length(q))/log(2))
    a[i,j]=v
    print(c(i,j))
  }
}

a=a+t(a)

```

```

colnames(a)=names(df)[2:ncol(df)]

rownames(a)=colnames(a)

png(filename="heatmap_grafos.png",width=1200,height=1000)

heatmap(a)

dev.off()

g=graph.adjacency(a,mode=c("undirected"),weighted=TRUE)

div=c()

divs=c()

while(length(V(g))>2){

elos=as.data.frame(get.edgelist(g))

elos$peso=E(g)$weight

ES=as.matrix(subset(elos,peso==min(peso)))

poss=as.character(c(ES[,c(1,2)]))

poss=intersect(poss,poss)

r=c()

for(k in poss){

g1=delete.vertices(g,k)

r=c(r,min(E(g1)$weight))

}

}

poss=poss[which(r==min(r))]

if(length(poss)>1){

r=c()

for(k in poss){

g1=delete.vertices(g,k)

```

```

    r=c(r,mean(E(g1)$weight))
  }

  poss=poss[which(r==min(r))]
}
poss=poss[1]
div=c(div,min(E(g)$weight))
g=delete.vertices(g,poss)
divs=c(divs,poss)
}

divs=c(divs,names(V(g)))
div=c(div,E(g)$weight)
divs
div=c(0,div)
for(i in 1:(length(div)-1)){
  div[i+1]=div[i]+div[i+1]
}

# Fim da primeira parte
plot(div/max(div))
divs #sequencia de diversidade total
div #valores da diversidade

g=graph.adjacency(a,mode=c("undirected"),weighted=TRUE)
elos=get.edgelist(g)

```

```

elos[order(E(g)$weight)[1],]
elos[order(E(g)$weight)[2],]
elos[order(E(g)$weight)[3],]
elos[order(E(g)$weight)[4],]
elos[order(E(g)$weight)[5],]
elos[order(E(g)$weight)[6],]
elos[order(E(g)$weight)[7],]
elos[order(E(g)$weight)[8],]
elos[order(E(g)$weight)[9],]
elos[order(E(g)$weight)[10],]
elos[order(E(g)$weight)[11],]
elos[order(E(g)$weight)[12],]
elos[order(E(g)$weight)[13],]
a[elos[order(E(g)$weight)[1],1],elos[order(E(g)$weight)[1],2]]
a[elos[order(E(g)$weight)[2],1],elos[order(E(g)$weight)[2],2]]

```

```
#####
```

Agora vamos analisar ano a ano

```
#####
```

```

resposta=c()
for(ano in as.character(1:28)){
a=matrix(0,ncol=NUM,nrow=NUM)
for(i in 1:(NUM-1)){
  for(j in (i+1):NUM){
    eval(parse(text=sprintf("b=(g_%d)",i+1)))

```

```

E(b)$weight=1
b=shortest.paths(b)
b=1/b
b[matrix(rep(1:nrow(b),2),ncol=2)]=1
b1=b
eval(parse(text=sprintf("b=(g_%d)",j+1)))
E(b)$weight=1
b=shortest.paths(b)
b=1/b
b[matrix(rep(1:nrow(b),2),ncol=2)]=1
q=intersect(colnames(b),colnames(b1))
if(length(intersect(q,ano))>0){
  b=b[ano,]
  b1=b1[ano,]
  b=b/sum(b)
  b1=b1/sum(b1)
  v=Sqrt(((entropia((b+b1)/2)-(entropia(b)+entropia(b1))/2)/length(q))/log(2))
  a[i,j]=v
}
if(length(intersect(q,ano))==0){
  a[i,j]=NA
}
print(c(i,j))
}
}

```

```

colnames(a)=names(df)[2:ncol(df)]

rownames(a)=colnames(a)

nomes=names(df)[setdiff(which(is.na(df[which(df[["Ano"]]==ano),])==FALSE),1)]

a=a[nomes,nomes]

a=a+t(a)

g=graph.adjacency(a,mode=c("undirected"),weighted=TRUE)

div=c()

divs=c()

while(length(V(g))>2){

  elos=as.data.frame(get.edgelist(g))

  elos$peso=E(g)$weight

  ES=as.matrix(subset(elos,peso==min(peso)))

  poss=as.character(c(ES[,c(1,2)]))

  poss=intersect(poss,poss)

  r=c()

  for(k in poss){

    g1=delete.vertices(g,k)

    r=c(r,min(E(g1)$weight))

  }

  poss=poss[which(r==min(r))]

  if(length(poss)>1){

    r=c()

    for(k in poss){

      g1=delete.vertices(g,k)

```

```

    r=c(r,mean(E(g1)$weight))
  }

  poss=poss[which(r==min(r))]
}
poss=poss[1]
div=c(div,min(E(g)$weight))
g=delete.vertices(g,poss)
divs=c(divs,poss)
}

divs=c(divs,names(V(g)))
div=c(div,E(g)$weight)
div=c(0,div)
for(i in 1:(length(div)-1)){
  div[i+1]=div[i]+div[i+1]
}

plot(div/max(div))
resposta=c(resposta,max(div)/length(div))
eval(parse(text=sprintf("divs_%d=divs",as.numeric(ano))))
eval(parse(text=sprintf("div_%d=div",as.numeric(ano))))
eval(parse(text=sprintf("a_%d=a",as.numeric(ano))))
print(ano)
}

```

```

# divs_1 retorna a sequencia da diversidade no ano 1
# div_1 o valor da sequencia
#a_1 a matriz de similaridade

divs_1

div_1

anos=1994:2021

for(i in 1:28){

eval(parse(text=sprintf("g=graph.adjacency(a_%d,mode=c('undirected'),weighted=TRUE)",i)))

elos=as.data.frame(get.edgelist(g))

elos$distancia=E(g)$weight

arq=sprintf("resultado_%d.csv",anos[i])

write.csv2(elos,file=arq)

}

elos[order(E(g)$weight)[1],]
elos[order(E(g)$weight)[2],]
elos[order(E(g)$weight)[3],]
elos[order(E(g)$weight)[4],]
elos[order(E(g)$weight)[5],]
elos[order(E(g)$weight)[6],]
elos[order(E(g)$weight)[7],]
elos[order(E(g)$weight)[8],]
elos[order(E(g)$weight)[9],]
elos[order(E(g)$weight)[10],]
elos[order(E(g)$weight)[11],]
elos[order(E(g)$weight)[12],]

```

```
#####
```

Agora vamos plotar a diversidade com o passar do tempo

```
#####
```

```
r=c()
```

```
for(i in 1:28){
```

```
  eval(parse(text=sprintf("r=c(r,sum(div_%d))",i)))
```

```
}
```

```
plot(1994:2021,r)
```

```
# Quando comparamos dois anos ex 10 e 11
```

```
a=a_22
```

```
b=a_25
```

```
q=intersect(rownames(a),rownames(b))
```

```
a=a[q,q]
```

```
b=b[q,q]
```

```
g=graph.adjacency(abs(a-b),mode=c("undirected"),weighted=TRUE)
```

```
elos=get.edgelist(g)
```

```
interesse=elos[order(E(g)$weight)[length(E(g)),]]
```

```
interesse
```

```
a[interesse[1],interesse[2]]
```

```
b[interesse[1],interesse[2]]
```

```
interesse=elos[order(E(g)$weight)[length(E(g))-200,]]
```

```
interesse
```

```
a[interesse[1],interesse[2]] #ano inicial
```

```
b[interesse[1],interesse[2]] #ano final
```