UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

GIOVANE THOMAZINI SOARES

Avaliação paradigmática da saúde paulista sob as lentes da complexidade

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO LUIZ PASSADOR

RIBEIRÃO PRETO
2020

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. André Lucirton Costa
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Jorge Henrique Caldeira de Oliveira
Chefe do Departamento de Administração

GIOVANE THOMAZINI SOARES

Avaliação paradigmática da saúde paulista sob as lentes da complexidade

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Versão corrigida. A original encontra-se disponível na FEA-RP/USP.

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO LUIZ PASSADOR.

RIBEIRÃO PRETO
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Soares, Giovane Thomazini

Avaliação paradigmática da saúde paulista sob as lentes da complexidade. Ribeirão Preto, 2020.

287 p.: il.; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Administração das Organizações.

Orientador: Passador, João Luiz.

1. Complexidade. 2. Paradigma. 3. Sistema Único de Saúde. 4. Redes.

Agora, eis o momento
Da melhora que buscas.

De nada te lastimes.
Ontem não mais existe

De tudo o que se foi,
Só a lição perdura.

Renova-te e caminha,
Sob o eterno presente.

Olha o tronco podado
Lançando ramos novos.

Não pares, segue e serve.
Deus cuidará de ti.

Emmanuel
Mensagem psicografada por Francisco Cândido Xavier.

AGRADECIMENTOS

Professor João Passador, orientador que me apresentou temas que mudaram minha vida, além de ter dirigido a pesquisa para área de grande importância.

Rafael Delalibera Rodrigues, você é querido amigo, extremamente importante para esta pesquisa; demonstra maestria em computação e a compartilha.

Luis Felipe Fernandes, amigo que coopera desde antes meu ingresso no mestrado. Você contribuiu de maneira significativa para este trabalho e é um querido amigo.

Agradeço ao CNPq pelo financiamento desta dissertação. Sem a ajuda financeira do CNPq, este trabalho não seria possível.

Obrigado UNESP e USP pelos conhecimentos proporcionados.

Agradeço aos físicos que contribuíram (muitas vezes como colegas) de maneira significativa para minha formação acadêmica: Gilberto Aparecido Prata, Camilo Rodrigues Neto e Evandro Marcos Saidel Ribeiro.

Agradeço ao Haroldo Dutra Dias que, mesmo sem saber, foi excelente companhia (por meio do áudio de suas palestras) em diversas viagens entre cidades.

Agradeço ao Brasil, gigante nação e cidade que tenho a honra de compor.

Agradeço à Maria Cabrera, Francisco Cabrera, Valdeci de Bonito, Márcia Cabrera, Isabella Gementi, Rafael Gementi, Maria Clara Gementi e Tainá Bonito pelos diversos papéis que deram forças para eu continuar a executar esta pesquisa.

Agradeço à TPD, formada por Bruna de Bonito, Victor de Bonito, Murilo Carminatti, Rafael Rosa e João Pedro Garcia. Todos vocês são pessoas cuja companhia é excelente. As várias conversas que tivemos foram de grande importância para que eu conseguisse seguir a pesquisa.

Matheus Buniotto, Matias, gigante amigo desde a infância, colaborou muito simplesmente sendo meu amigo e na produção de diversas imagens muito úteis e estéticas.

Papia e André, obrigado pelas importantíssimas cooperações, vocês ajudaram muito para este trabalho. Vocês são extremamente valiosos. Amo vocês.

Tia Fá, Marcelo e Vó Vanda, ter vocês por perto sempre é grande alegria. Vocês são extremamente valiosos. Amo vocês.

Custela, meu eterno irmão, muito obrigado pela importantíssima companhia de sempre, sinto muita muita saudade de você.

Bruna de Bonito, eu ter te encontrado nessa vida me faz feliz. Eu te amo. Ainda, você foi alma essencial para esta pesquisa. Seus esforços sempre demonstram vontade de ajudar e expressam a capacidade de suas ações.

Deus, obrigado por literalmente tudo.

Pai, Vilson Soares Ferreira, mãe, Lucimara Thomazini Soares, vocês são inigualáveis. A determinação e apoio incondicional de vocês, ao longo de décadas, são exemplos para todos. Esta pesquisa é, sem dúvidas, fruto da capacidade e esforço de vocês. Amo vocês para sempre.

RESUMO

SOARES, G.T. **Avaliação paradigmática da saúde paulista sob as lentes da complexidade.** 2020. 287f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2020.

Notáveis similaridades existem entre sistemas complexos e a Saúde em nível Interurbano no estado de São Paulo (SIUSP, rede interurbana cujos nós são cidades com população total superior a 50 mil habitantes e Áreas de Concentração de População, ACPs). Assim, por analogia, foi formulada a hipótese de que a SIUSP apresenta emergentes. Isso implica, dadas outras propriedades da SIUSP, que ela é um sistema complexo (sob essa perspectiva, a SIUSP é categorizada em nível de emergentes e em nível de estrutura interativa; no primeiro nível mencionado, suas arestas são referentes à saúde de seus nós, já no segundo nível, suas arestas descrevem interações entre os nós). A veracidade dessa implicação, conjuntamente com outras premissas já validadas, incorre na necessidade de a Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal (SPPIM, rede cujos nós são cidades; suas arestas descrevem formais conexões que tratam estritamente de saúde e instituídas de maneira *top-down*; exemplos de SPPIM são regiões de saúde) ser compreendida por paradigma vinculado às ciências da complexidade (Paradigma de Visão de Mundo Holística, PVMH). O vigente paradigma da SPPIM pode ser incompatível (sob a perspectiva de propriedades de sistemas complexos) com o PVMH. Assim, a consolidação da SIUSP como detentora de emergentes proporciona provável mudança paradigmática do modo de compreender a SPPIM. O novo paradigma que sustentaria a compreensão da SPPIM seria o PVMH (por este último ser capaz de lidar com propriedades de sistemas complexos). Por tais importantes consequências, é testada a compatibilidade entre o PVMH e o vigente da SPPIM. Pela mesma razão, é averiguado se a SIUSP demonstra significativos indícios de que apresenta emergentes. São obtidas melhores respostas sobre a alteração paradigmática caso a última averiguação mencionada se sustente no possível novo paradigma. Nesse contexto, a pesquisa objetiva identificar se existem significativos indícios que corroboram que o vigente paradigma da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo PVMH, alinhado à teoria da complexidade. Para alcance desse objetivo, a pesquisa fundamenta-se em dados coletados em fonte secundária (DATASUS e IBGE), analisados por estatística multivariada, cujos resultados são interpretados por método de análise de conteúdo. Assim, a pesquisa apresenta aspectos quantitativos e qualitativos; ainda ela se categoriza como exploratória. Ela gera redes de similaridade de variações anuais de cidades e ACPs paulistas. Essas redes são representantes da SIUSP em nível de emergentes. Com base nessas redes, foi identificado que a ordem instituída, composta por regiões e macrorregiões de saúde, não foi capaz de explicar diversos comportamentos da SIUSP. Uma dessas redes possibilitou captar padrões interurbanos não triviais e que demonstram forte persistência temporal. Entretanto, tais redes não demonstraram grandes indícios de possuírem propriedades de emergentes. Assim, apesar do exposto e da identificação de incompatibilidade entre o PVMH e o vigente paradigma da SPPIM, concluiu-se que não é possível afirmar, com as informações obtidas, que existem significativos indícios que corroboram que o vigente paradigma da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo PVMH.

Palavras-Chave: Complexidade; Paradigma; Sistema Único de Saúde; Redes.

ABSTRACT

SOARES, G.T. **Paradigmatic evaluation of health in the state of São Paulo under the lens of complexity.** 2020. 287f. Dissertation (Master Thesis) – School of Economics, Business Administration and Accounting at Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2020.

Notable similarities exist between complex systems and Health at the Interurban level of the state of São Paulo (SIUSP, interurban network, whose nodes are cities with more than 50 thousand inhabitants and Population Concentration Areas, ACPs). Thus, by analogy, the hypothesis that SIUSP presents emergents was built. This implies, given other properties of SIUSP, that the SIUSP is a complex system (from this perspective, the SIUSP is categorized in level of emergents and in level of interactive structure; in the first mentioned level, its edges refer to the health of their nodes, in the second level, its edges describe interactions between the nodes). The veracity of this implication, together with other assumptions already validated, incurs the need for São Paulo Public Health at Intermunicipal level (SPPIM, composed of formal connections between cities, such connections deal strictly with health and are instituted in a top-down manner; examples of SPPIM are health regions) to be understood by a paradigm linked to the sciences of complexity (Holistic Worldview Paradigm, PVMH). The current SPPIM paradigm may be incompatible (given the perspective of properties of complex systems) with the PVMH. Thus, the consolidation that the SIUSP presents emergents provides a probable paradigmatic change of the way of understanding the SPPIM. The new paradigm that would support the understanding of SPPIM would be the PVMH (because the later is capable of handling properties of complex systems). For those important consequences, is tested the compatibility between the PVMH and the current paradigm of SPPIM. For the same reason, is investigated if SIUSP shows significant evidences that she has emergents. Better answers about the paradigmatic change are obtained if the last investigation mentioned is based on the possible new paradigm. In this context, the research aims to identify if there are meningful evidences that corroborate that the current paradigma of SPPIM must be replaced by the PVMH, aligned with the theory of complexity. To achieve this objective, the research is based on data collected from secondary source (DATASUS and IBGE), analyzed by multivariate statistics, whose results are interpreted by content analysis method. Thus, the research presents quantitative and qualitative aspects; it is also categorized as exploratory. It generates similarity networks of annual variations of cities and ACPs located in the state of São Paulo. These networks are representations of the SIUSP at emergents level. Based on these networks, it was identified that the instituted order, of regions and macro-regions of health, was not able to explain various behaviors of SIUSP. One of these networks made it possible to capture non-trivial interurban patterns that demonstrate strong temporal persistence. However, such networks have not shown great evidences of emergents properties. Thus, despite of the results presented and the identification of incompatibility between the PVMH and the current SPPIM paradigm, was concluded that it is not possible to state, with the information obtained, that exist meningful evidences that corroborate that the current paradigma of SPPIM must be replaced by the PVMH.

Keywords: Complexity; Paradigm; Unified Health System; Networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Valores e pensamentos das tendências atrelados aos paradigmas.....	31
Figura 2 – Campos complementares do conhecimento humano.....	34
Figura 3 – Mapa de Königsberg que representa o problema das pontes dessa cidade.....	38
Figura 4 – Ilustração da rede de terras (nós) e pontes (arestas) de Königsberg no tempo de Euler.....	39
Figura 5 – Exemplo de rede não dirigida.....	40
Figura 6 – Exemplo de rede dirigida.....	41
Figura 7 – Exemplo de rede ponderada.....	41
Figura 8 – A rede da internet.....	42
Figura 9 – Exemplo de rede.....	43
Figura 10 – Exemplo de rede e sua distribuição de grau.....	45
Figura 11 – Exemplo de rede para medidas de distância.....	47
Figura 12 – Exemplo de matriz de adjacência para uma rede não dirigida e uma dirigida.....	49
Figura 13 – Visualização da rede correspondente à matriz de adjacência do Quadro 2.....	50
Figura 14 – Demonstração gráfica de distribuição de Poisson e binomial.....	53
Figura 15 – Combinação de rede aleatória com regular e seus resultados.....	56
Figura 16 – $\langle C \rangle$ e $\langle d \rangle$ em relação a p	57
Figura 17 – Rede formada pelo modelo BA.....	58
Figura 18 – Comparação entre a distribuição de Poisson e a distribuição de lei de potência.....	59
Figura 19 – f_c para redes de sistemas reais.....	66
Figura 20 – Possíveis resultados de um agrupamento hierárquico utilizado em redes.....	72
Figura 21 – Partição ótima com emprego de modularidade.....	74
Figura 22 – Efeito propagativo visto sob a ótica da distância efetiva.....	81
Figura 23 – Representação de redes que apresentam correlação de grau, sendo uma é assortativa (a) e a outra desassortativa (b).....	82
Figura 24 – Randomização com preservação de grau.....	84
Figura 25 – Relação entre componente gigante e correlação de grau.....	85
Figura 26 – Relação entre proporção de nós necessários para controlar a rede (eixo vertical) com a correlação de grau da mesma (eixo horizontal) para rede aleatória.....	87
Figura 27 – Relação entre proporção de nós necessários para controlar a rede (eixo vertical) com a correlação de grau da mesma (eixo horizontal) para rede que segue lei de potência com expoente de 2,5.....	88
Figura 28 – Emprego de combinação máxima para identificar mínimo N_d possível em redes.....	91
Figura 29 – Densidade de tipo de arestas em redes reais.....	93
Figura 30 – Causalidade de um laço de realimentação.....	99
Figura 31 - Ilustração de um sistema complexo.....	102
Figura 32 – Trajetória no espaço de fase de um pêndulo com atrito como um exemplo de atrator pontual.....	105
Figura 33 – Atrator periódico de um pêndulo sem atrito.....	105
Figura 34 – Atrator caótico.....	106

Figura 35– Série temporal mapa de Hénon para parâmetros que caracterizam o sistema com comportamento periódico de período dois.....	108
Figura 36 – Diagrama de estado final para o mapa de Hénon com $a = 0,155$ e $b = 0,6$	108
Figura 37 – Comportamento aperiódico da órbita do mapa de Hénon em série temporal.....	109
Figura 38 – Atrator caótico do mapa de Hénon e o deslocamento do estado do sistema para as iterações 50 até 54.....	109
Figura 39 – Demonstração de DSCI ou efeito borboleta.....	111
Figura 40 – Bifurcações sucessivas em um sistema de não-equilíbrio.....	116
Figura 41 – Auto-organização sem emergência.....	120
Figura 42 – Sistema que demonstre emergência e ausência de auto-organização.....	120
Figura 43 – Combinação de auto-organização e emergência.....	121
Figura 44 – Sucesso ecológico simulado das estratégias.....	135
Figura 45 – Matriz de recompensas.....	136
Figura 46 – Relações entre N , w e r	137
Figura 47 – Ciclos evolucionários de cooperação e defecção.....	139
Figura 48 – Frequência de cooperadores em distintas redes de contato.....	141
Figura 49 – Evolução de cooperação em comunidades pequenas.....	142
Figura 50 – Evolução da cooperação em redes que apresentam distintos níveis de correlações.....	143
Figura 51 – Reciprocidade direta.....	145
Figura 52 – Seleção de parentesco.....	145
Figura 53 – Reciprocidade indireta.....	146
Figura 54 – Reciprocidade de rede.....	146
Figura 55 – Seleção de grupo.....	147
Figura 56 – Cooperadores como EEE; RD e VJ, dada ordem de cima para baixo.....	147
Figura 57 – A treliça hexagonal de Christaller.....	185
Figura 58 – A similaridade e o formato fractal no crescimento de Paris (esquerda) e de uma colônia de bactérias (direita).....	186
Figura 59 – A tácita fractalidade.....	186
Figura 60 – P_d e d^{-2}	194
Figura 61 – Distribuição de intensidade da rede macroscópica.....	195
Figura 62 – A relação entre intensidade média de comunicação com distância e $1/d^2$	196
Figura 63 – Relação entre intensidade de comunicações intermunicipais e população dos municípios.....	197
Figura 64 – Relação entre intensidade de comunicação intermunicipal obtida e $P_A P_B / d_{AB}^2$	197
Figura 65 – Movimentos intramunicipais de três cidades.....	199
Figura 66 – Distribuição de rank de 34 cidades.....	199
Figura 67 – Comparação entre realidade e os dois modelos.....	200
Figura 68 – Histograma que expressa a frequência de resíduos (IMAE) e a distribuição de Laplace (linha vermelha).....	208
Figura 69 – A estabilidade temporal do IMAE.....	209
Figura 70 – Distribuição espacial de IMAEs em 2006.....	211
Figura 71 – A similaridade entre um sistema complexo e a SIUSP.....	225
Figura 72 – Lógica para alcance do objetivo geral.....	226
Figura 73 – Rede de interações interurbanas.....	246
Figura 74 – Distribuição de grau da RII.....	247

Figura 75 – Corrente que demonstra consistência, dinamicidade e novidade radical.....	254
Figura 76 – Formato padrão da página de coleta de dados no Datasus.....	284

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – O choque entre Aristóteles e Novas descobertas.....	33
Quadro 2 – Matriz de adjacência de rede dirigida.....	50
Quadro 3 - Matriz de recompensas dos cinco mecanismos e condições necessárias para cooperadores serem EEE, RD e vantajosos.....	148
Quadro 4 – Funcionamento de organizações mecanísticas e orgânicas.....	153
Quadro 5 – Comparações entre organizações mecânicas e orgânicas.....	154
Quadro 6 – Comparação de tomada de decisão em redes e em hierarquias.....	163
Quadro 7 – Comparação de padrões de interdependências.....	166
Quadro 8 – Elementos institucionais de um padrão de interdependência em rede.....	167
Quadro 9 – Interpretação estabilidade e instabilidade em correntes.....	240
Quadro 10 – Regressões.....	248
Quadro 11 – Objetivos da pesquisa.....	259

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Área de Concentração de População
AEM	Áreas Estatísticas Metropolitanas
DATASUS	Departamento de Informática do SUS
DP	Dilema do Prisioneiro
DRS	Departamento Regionais de Saúde
EEE	Estratégia Evolutivamente Estável
GTFT	Generous TIT FOR TAT
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAE	Indicador Metropolitano Ajustado à Escala
MESP	Ministério da Educação e Saúde Pública
NOAS	Normas Operacionais de Assistência à Saúde
NPM	<i>New Public Management</i>
PCN	Paradigma Cartesiano-Newtoniano
PDR	Plano Diretor de Regionalização
PES	Plano Estadual de Saúde
PNS	Plano Nacional de Saúde
PVMH	Paradigma de Visão de Mundo Holística
RAS	Redes de Atenção à Saúde
RD	Risco-Dominantes
RII	Rede de Interações Interurbanas
RIUSVAA	Rede Interurbana embasada em Similaridades de VAAs
SG	Snowdrift Game
SIUSP	Saúde em nível Interurbano no estado de São Paulo
SPPIM	Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal
SRC	Similaridade entre Redes fundamentada em Comunidades
SUS	Sistema Único de Saúde
TCRPB	Taxa de Crescimento Real do PIB do Brasil
TFT	TIT FOR TAT
VAA	Variação Anual Ajustada
VJ	Vantajosos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Problema de pesquisa.....	26
1.2 Objetivo geral.....	26
1.3 Objetivos específicos.....	26
1.4 Justificativa.....	27
1.5 Estrutura do trabalho.....	29
2 ASCENSÃO E PROPRIEDADES VINCULADAS AO PARADIGMA DE VISÃO DE MUNDO HOLÍSTICA.....	31
2.1 Ascensão e reinado do Paradigma Cartesiano-Newtoniano.....	32
2.1.1 A Revolução Científica.....	33
2.2 A queda do reducionismo: teoria de redes.....	38
2.2.1 Características elementares de redes.....	40
2.2.1.1 Redes dirigidas e não dirigidas; redes ponderadas e não ponderadas.....	40
2.2.1.2 Principais métricas de rede e suas representações simbólicas.....	42
2.2.1.2.1 As relações entre k , P_k , L e N	43
2.2.1.2.2 Coeficiente de agrupamento.....	45
2.2.1.2.3 Medidas de comprimento.....	46
2.2.1.2.4 Medidas de centralidade.....	47
2.2.1.3 Matriz de adjacência.....	48
2.2.2 Modelos de formação de redes e suas características básicas.....	50
2.2.2.1 Redes aleatórias.....	51
2.2.2.2 Ascensão de redes de mundo pequeno.....	55
2.2.2.3 Modelo BA.....	57
2.2.2.3.1 Falhas do modelo BA e possíveis soluções para aquelas.....	60
2.2.2.4 Modelo BB.....	62
2.2.2.4.1 Condensação Bose-Einstein.....	62
2.2.2.4.2 Aquisição de arestas no modelo BB.....	63
2.2.3 Propriedades de redes.....	64
2.2.3.1 Robustez.....	64
2.2.3.1.1 Falhas.....	64
2.2.3.1.2 Ataques.....	65
2.2.3.1.3 Falha em cascata.....	66

2.2.3.1.4 Aumento de robustez.....	68
2.2.3.2 Comunidades em redes e suas características gerais.....	70
2.2.3.2.1 Agrupamento hierárquico.....	71
2.2.3.2.2 Modularidade	73
2.2.3.2.3 Os métodos de identificação de comunidades mais precisos.....	75
2.2.3.3 Fenômeno propagativo.....	75
2.2.3.3.1 Propagação de acordo com modelo epidêmico.....	76
2.2.3.3.2 Propagação de acordo com a topologia da rede.....	78
2.2.3.3.3 Especificidades de propagação para rede sociais.....	79
2.2.3.4 Correlação de grau.....	81
2.2.3.4.1 Desassortatividade estrutural e randomização com preservação de grau.....	83
2.2.3.4.2 Correlação de grau, componente gigante e diâmetro.....	84
2.2.3.4.3 Correlação de grau e controlabilidade.....	86
2.2.3.5 Controlabilidade.....	89
2.2.3.5.1 Relação de controlabilidade com distribuição de grau, heterogeneidade e grau médio.....	89
2.2.3.5.2 Relação de controlabilidade com o grau dos nós.....	90
2.2.4 Conectividade de redes e além.....	93
2.3 A queda do reducionismo e enfraquecimento da noção de predição: teoria geral dos sistemas, sistemas complexos e física.....	94
2.3.1 Sistemas isolados, fechados e abertos; equilíbrio; entropia e estado estacionário.....	95
2.3.2 Um esboço da Teoria Geral dos Sistemas.....	97
2.3.3 Laço de realimentação	99
2.3.4 Sistemas lineares e não-lineares.....	100
2.3.5 Sistemas complexos.....	101
2.3.5.1 Estudo de sistemas complexos: espaço de fase e atratores.....	103
2.3.5.2 Caos.....	108
2.3.5.3 Auto-organização.....	112
2.3.5.3.1 Estruturas dissipativas.....	114
2.3.5.4 Emergência.....	117
2.3.5.5 Diferenças e semelhanças entre auto-organização e emergência.....	119
2.3.5.6 Combinação de emergência e auto-organização.....	121

2.3.6 As fragilidades do reducionismo e da predição como certezas.....	121
2.3.6.1 As conexões da física.....	124
2.3.6.1.1 Nível micro.....	124
2.3.6.1.2 Macro-escala.....	125
2.3.6.1.3 Conclusões sobre nível micro e macro.....	126
2.4 Cooperação.....	127
2.4.1 A teoria da simbiogênese.....	127
2.4.2 Teoria dos jogos.....	130
2.4.2.1 Teoria dos jogos, Dilema do Prisioneiro e cooperação.....	131
2.4.2.1.1 Torneios de estratégias.....	133
2.4.2.1.2 Torneios hipotéticos.....	134
2.4.2.1.3 Torneios evolucionários: emergência e estabilidade da cooperação.....	136
2.4.2.1.4 Cooperação em redes.....	139
2.4.2.2 Cinco mecanismos para a evolução de cooperação.....	144
2.4.3 Conclusão sobre cooperação.....	148
3 REDES E ORGANIZAÇÕES.....	150
3.1 O todo e as partes.....	150
3.2 Definição de redes no âmbito organizacional.....	150
3.2.1 Redes, mercados e hierarquias.....	151
3.3 Redes e organizações.....	152
3.3.1 Perspectiva sistêmica organizacional.....	152
3.3.2 Emergência de organizações em redes.....	154
3.3.2.1 O aumento de interconectividade.....	155
3.3.2.1.1 A resposta para esse mundo.....	156
3.3.2.2 Qualidades positivas naturais de redes.....	157
3.3.2.3 Emergência de redes em nível micro.....	158
3.3.2.4 Emergência de redes em Administração Pública.....	158
3.3.2.4.1 A importância do contexto e falhas em nova e tradicionais abordagens referentes à Administração Pública.....	159
3.3.2.4.2 A descentralização socioestatal.....	160
3.3.2.4.3 Emergência de redes no contexto da Administração em nível micro e definição de redes de políticas.....	160
3.4 Propriedades e tratamento de redes.....	161

3.4.1	Produção de políticas.....	161
3.4.2	Tomada de decisão.....	162
3.4.3	Especificação e tratamento de incertezas no processo de tomada de decisão.....	164
3.4.3.1	Institucionalidade e interdependência.....	164
3.4.3.1.1	Propriedades vinculadas à institucionalidade e à interdependência.....	165
3.4.3.1.2	Interdependência, institucionalização e relações externas.....	168
3.4.4	Coesão.....	169
3.4.5	Controle em redes.....	170
3.4.6	Poder.....	171
3.4.7	Gerenciamento de redes.....	172
3.4.7.1	Utilidades de relações superficiais e relações profundas.....	174
3.4.7.2	Estratégias dos componentes da rede: conexões fortes e fracas.....	175
3.4.8	Utilidade organizacional da complexidade de redes.....	176
3.4.8.1	Vantagens funcionais de redes perante mercados e hierarquias.....	178
4	REDES, CIDADES E REGIÕES.....	180
4.1	A trajetória histórica da compreensão de regiões e a complexidade de cidades.....	180
4.1.1	Determinismo e região natural.....	180
4.1.2	Possibilismo e região geográfica.....	181
4.1.3	Do estático para o dinâmico, das partes para o sistema.....	182
4.1.4	A complexidade de arranjos e interações espaciais.....	184
4.2	O confronto entre a lógica <i>top-down</i> e a <i>bottom-up</i>	187
4.3	A possível categorização de redes.....	189
4.3.1	A categorização de redes.....	189
4.3.2	Visões semelhantes a essa categorização.....	190
4.4	Redes de (e em) cidades.....	191
4.4.1	Redes interpessoais em macroescala.....	191
4.4.1.1	Descrições de propriedades de rede interpessoal em macroescala.....	192
4.4.1.2	Redes de (e por) pessoas em macroescala e a lei gravitacional.....	192
4.4.2	Rede intermunicipal em macroescala.....	194
4.4.3	Redes interlocais formadas por movimentações interpessoais em microescala.....	198
4.5	Conclusões das redes e padrões analisados.....	201

4.6 Propriedades de cidades.....	202
4.6.1 Origem das leis de escala.....	203
4.6.2 Estabilidade e desvios da expectativa fornecida pela população.....	206
4.6.3 Combinação de perspectiva intramunicipal com intermunicipal.....	210
5 SAÚDE NO BRASIL.....	213
5.1 Sístoles, diástoles e integralidade.....	213
5.1.1 O Estado e a integralidade do Brasil.....	213
5.1.2 O Estado, a saúde e a integralidade do Brasil.....	214
5.2 A intensificação da descentralização.....	216
5.3 O Sistema Único de Saúde.....	216
5.3.1 A descentralização da saúde: a ênfase nas partes e olvido do todo.....	218
5.3.1.1 O paradigma da municipalização autárquica e seus problemas.....	218
5.3.2 A descentralização da saúde: a lógica sistêmica.....	220
5.3.2.1 Do paradigma da municipalização autárquica para o da regionalização cooperativa.....	221
5.3.2.2 Regionalização a partir de 2006.....	222
6 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	225
6.1 Classificações da pesquisa.....	225
6.2 Métodos utilizados.....	227
6.2.1 Diretrizes.....	227
6.2.2 Diretrizes para aplicação de tratamento de dados.....	228
6.2.3 Seleção da extensão temporal da pesquisa.....	229
6.2.4 Coleta e seleção de variáveis.....	230
6.2.5 Variações anuais ajustadas.....	231
6.2.6 Rede de Interações Interurbanas.....	232
6.2.7 Redes Interurbanas embasadas em Similaridades de VAAs.....	235
6.2.7.1 Utilidade de RIUSVAAs.....	235
6.2.8 Índícios de propriedades de emergentes na SIUSP.....	237
6.2.8.1. Partes interagentes.....	237
6.2.8.2 Consistência e dinamicidade.....	239
6.2.8.2.1 Execução de análise de consistência e dinamicidade.....	240
6.2.8.3 Novidade radical.....	241
6.2.8.4 O todo.....	242

6.2.8.4.1 Correntes detentoras de significativos indícios de que possuem emergentes.....	242
6.2.8.4.2 Procedimento para alcance do objetivo geral.....	243
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	246
7.1 Rede de Interações Interurbanas.....	246
7.2 Variáveis e regressões.....	247
7.3 Os indícios de propriedades de emergentes na SIUSP.....	250
7.3.1 Resultados dos procedimentos separados.....	250
7.3.2 Resultados dos procedimentos integrados.....	253
7.3.3 Resultado do objetivo geral.....	256
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	258
8.1 Alcance dos objetivos.....	259
8.2 Contribuições do estudo.....	260
8.3 Limitações do estudo.....	261
8.4 Sugestões para futuras pesquisas.....	261
REFERÊNCIAS.....	263
APÊNDICE A – Método de coleta de variáveis.....	284
APÊNDICE B – Buscas por rede de similaridade de variação de cidades ou elementos urbanos.....	287

1 INTRODUÇÃO

“Paradigmas” são trabalhos científicos universalmente reconhecidos que, por determinado período de tempo, fornecem modelos de problema e de soluções para uma comunidade de profissionais da ciência (KUHN, 1962). A aceitação e o comprometimento com um paradigma são pré-requisitos à prática científica (BAUER, 1999).

Entre o fim do século XVII e o início do século XVIII, foi consolidado um paradigma chamado de Cartesiano-Newtoniano (PCN). Seu nome é oriundo de seus dois principais pensadores: Descartes e Newton (BAUER, 1999). Sob as lentes desse paradigma, o universo funciona como uma máquina perfeita, governada por leis matemáticas exatas (CAPRA, 2006). Assim, se conhecidos todos os detalhes do estado de uma parte do sistema, seria possível a previsão exata do seu futuro (BAUER, 1999; CAPRA; LUISI, 2014). Coerente com essa concepção de previsibilidade como certezas, o mesmo paradigma encontra sustentação na tendência à quantificação e ao controle, além de simplificar a causalidade ao fundamentar-se na busca, entre eventos, de relações ordenadas de causa e efeito (ordenamento esse vinculado ao pensamento linear) (BAUER, 1999; FELDMAN, 2012; CAPRA, 2006).

Ainda, o PCN é caracterizado por valorizar o reducionismo (BAUER, 1999), que busca reduzir elementos em seus componentes básicos com o intuito de compreender os primeiros. Por fim, tal paradigma também se atrela à valorização da competição (CAPRA; LUISI, 2014). Um tentáculo dessa valorização pode ser visto como manifesto na validação, que fundamenta esse paradigma, de concepção da relação sociedade-natureza como subordinativa, relação essa na qual o homem domina a última (BAUER, 1999).

Com o progresso da ciência, descobertas foram feitas e algumas dessas pulverizam pilares do PCN (BAUER, 1999). Em relação ao reducionismo, destacam-se os sistemas complexos¹. Eles apresentam muitos componentes interconectados e interagentes e, por isso, esses sistemas apresentam emergência. Produtos do processo de emergência, chamados emergentes, não podem ser estudados por fragmentação do sistema e estudo de seus componentes (WOLF; HOLVOET, 2005). Ainda (ao tratar de reducionismo, somado à tendência à previsibilidade) é destacado o desenvolvimento, no início do século XX, da física quântica. Essa aponta que a matéria é composta, no nível subatômico, de partículas instáveis e interconectadas. Tal interconectividade acarreta o fato de que as partes componentes do

¹ “Complexo” significa “composto de muitas partes interconectadas” e também “tão complicado ou intrincado que é difícil de entender ou lidar com” (COMPLEX, 2019, online). Essa definição demonstra grande capacidade de descrição de sistemas complexos.

universo “[...] não podem ser entendidas como entidades isoladas, mas precisam ser definidas por meio de suas inter-relações” (CAPRA; LUISI, 2014, p. 104). O modo de estudo de tal conectividade não é exato em suas conclusões, mas sim probabilístico (CAPRA; LUISI 2014; CAPRA, 2006).

A transmutação do sentido de predição, que passa de certezas para probabilidades, é reforçada pela introdução da mecânica estatística e novamente pelo estudo de sistemas complexos (PARISI, 2013). Ainda, a identificação de fenômeno não-lineares, como os que caracterizam o caos, novamente corrobora aquela transmutação (FELDMAN, 2012).

Já a valorização da competição é contraposta pela compreensão da necessidade da cooperação para a evolução construir novos níveis de organização (NOWAK, 2006b). Também, na área de teoria dos jogos, é demonstrado que, mesmo em mundos marcados por defecções incondicionais, completamente compostos por agentes absolutamente egoístas, dado que a defecção é recompensada a curto prazo, a cooperação pode emergir (AXELROD, 1984). Por fim, no campo da biologia, constata-se que a simbiogênese, fundamentada na cooperação, demonstra maior eficiência como geradora de inovação evolutiva do que processos atrelados ao mecanismo descrito pela teoria darwiniana (MARGULIS, 2001), fundamentada na competição (MITCHELL, 2009).

Em suma, em diversas dimensões, a natureza comportou-se de maneira que não corresponde às expectativas do PCN. Tal discrepância marca o início da emergência de um novo paradigma (BAUER, 1999). O paradigma emergente é chamado de Visão de Mundo Holística (PVMH). Ele demonstra profundas conexões com a teoria da complexidade² e “reconhece o mundo como um todo integrado em vez de uma coleção de partes dissociadas” (CAPRA; LUISI, 2014, p. 37). Assim, a perspectiva de redes é central para esse paradigma (CAPRA; LUISI, 2014).

As redes proporcionam fenômenos não-lineares (CAPRA, 2006), que enfraquecem a noção de predição (FELDMAN, 2012). Ainda, relações não-lineares são tratadas com equações

² A teoria da complexidade demonstra interesse por sistemas complexos, não-lineares e afastados do equilíbrio. Ela "está desenvolvendo as ferramentas, métodos e constructos necessários para tornar o processo de emergência menos opaco" (GOLDSTEINS, 1999, p. 58-59). Todavia, não existe uma única teoria da complexidade nem uma única ciência da complexidade (MITCHELL, 2009). Essa abrangência das propriedades que descrevem a teoria da complexidade possibilita grande amplitude de definições. No texto aqui desenvolvido, ela é compreendida como referente a um conjunto de temas que tendem a possuir origem relativamente recente e cuja definição das áreas do saber em que se enquadram ainda não foi totalmente efetuada. Esses temas são úteis para compreender sistemas complexos, não-lineares e afastados do equilíbrio e/ou úteis para esclarecer o processo de emergência. Assim, a teoria da complexidade demonstra diversas congruências com propriedades essenciais do PVMH.

não lineares, que descrevem situações em que a previsão exata é, com frequência, impossível. A interconectividade também acentua a naturalidade da cooperação (NAESS apud FOX, 1990) e, por meio daquela, a cooperação pode emergir (AXELROD, 1984). A conectividade entre elementos também torna frequentemente necessária a análise de tais padrões reticulares para a compreensão do sistema que descrevem (MITCHELL, 2009; BARABÁSI, 2014; WEST, 2017). Assim, o PVMH vincula-se à percepção de interconectividade; ao enfraquecimento da noção de predição (que passa a tender a ser descrita por probabilidades); aos pensamentos holístico e não-linear e, por fim, à valorização da cooperação (CAPRA; LUISI 2014; CAPRA, 2006). Todas essas propriedades se contrapõem àquelas que caracterizam o PCN.

Dessas propriedades, destaca-se a tríade composta por: *ênfase para arranjo reticular; valorização da cooperação e enfraquecimento do significado de “predição”*, aqui nomeada de “tríade holística”. Tal destaque é efetuado pois essa tríade caracteriza (vezes parte dela, vezes ela completa) elementos vinculados ao objeto de estudo, como gestão de redes, dinâmicas regionais e a saúde pública em nível interurbano. Sobre o primeiro componente da tríade, em casos, aquela ênfase é acompanhada por construção/fortalecimento de tal arranjo (isto é, excede mera percepção).

Essas três propriedades também podem ser vislumbradas como um todo coerente pelo fato de as duas últimas emergirem, naturalmente, em grande parte, da primeira (NOWAK, 2006b; SANTOS; PACHECO, 2005; WOLF; HOLVOET, 2005). Isto é, conectividade (intensa e entre muitos elementos) tende a gerar enfraquecimento do significado de predição (WOLF; HOLVOET, 2005; GOLDSTEIN, 1999) e, dependendo do contexto, favorecer a cooperação (FOX³, 1990 apud CAPRA, 2006; NOWAK, 2006b). Aquele enfraquecimento, profundamente vinculado à não-linearidade, manifesta-se de distintas maneiras; uma dessas são os emergentes (GOLDSTEIN, 1999).

A mudança de paradigma faz-se visível em distintos campos do saber, manifesta, especialmente sob a ótica dessa tríade, na transmutação da percepção de elementos e fenômenos (CAPRA; LUISI, 2014; CAPRA, 2006). Isto é, um elemento, antes vislumbrado como fragmentado, passa a ser visto como interconectado. Ainda, mesmo que tais conexões fossem percebidas, elas são valorizadas sob as lentes do novo paradigma (CAPRA, 2006). Também um elemento, antes visto como previsível e controlável, passa a ser percebido como caracterizado por comportamentos que dificultam a previsão (e controle) de movimentos futuros. Por fim, a competição, antes valorizada, assiste à valorização da cooperação.

³FOX, W. **Toward a transpersonal ecology**. Shambhala: Boston, 1990.

Essa transmutação ocorre em teorias capazes de abranger grande diversidade de temas, assim como em campos do saber mais específicos e de menor escopo. Sobre os mais abrangentes, a mudança de paradigma tende a cristalizar-se (e ser cristalizada) não na alteração de percepção de teorias já existentes, mas sim no surgimento e aprofundamento de áreas do saber que são, essencialmente, marcadas por propriedades do PVMH. Esses são os casos da teoria de redes (BARABÁSI, 2014; NEWMAN, 2003), da teoria geral dos sistemas (BERTALANFFY, 1950) e do estudo de sistemas complexos (MITCHELL, 2009).

Já sobre os campos da ciência mais específicos, destaca-se o estudo de sistemas urbanos, no qual são discutidas redes urbanas (CONTEL, 2015), assim como a existência de emergentes em sistemas urbanos (WEST, 2017; BATTY, 2013). Também na arena de estudos sociais, ascenderam trabalhos embasados na percepção de existência de estrutura relacional policêntrica (FLEURY; OOVERNEY, 2007). Alinhado com a emergência de tais trabalhos, manifestam-se modelos organizacionais que demonstram maior congruência com a nova realidade interconectada. Assim, moldam-se organizações em redes (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018; FLEURY; OOVERNEY, 2007; KLERING; PORSSE, 2014), que tendem a produzir resultados emergentes (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018) e apresentam a cooperação como útil ação para os componentes da rede (BÖRZEL; 1998; FLEURY; OOVERNEY, 2007).

Situado no escopo de estudo das ciências administrativas, encontra-se a Administração Pública. Essa estruturava-se organizacionalmente (e, em partes, ainda se estrutura), para produção de políticas, de maneira hierárquica e unitária, por meio de ações *top-down*. Tal estrutura está sendo substituída por outra, que é policêntrica e reticular (FLEURY; OOVERNEY, 2007). Nesse contexto, também se fazem presentes emergentes (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018) e a valorização da cooperação (FLEURY; OOVERNEY, 2007).

Ainda no campo da administração pública, mais especificamente ao tratar da brasileira no setor da saúde pública, esse último também é descrito por redes. Isso é expresso pela Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (CRFB/88) que, em seu artigo 198, *caput*, impõe que: “As ações e serviços públicos de saúde integram uma rede regionalizada e hierarquizada [...]”. Em coerência com essa disposição, o Sistema Único de Saúde (SUS), o sistema público de saúde do Brasil, sofre regionalização, que é a construção de regiões de saúde como recortes territoriais em espaços geográficos contínuos (SILVA; GOMES, 2014), compostas por cidades conexas (BRASIL, 2011). Assim, é notável a complexidade da saúde pública brasileira em nível intermunicipal. De maneira dedutiva, com o intuito de tornar o escopo de análise mais estreito, é notada a grande complexidade da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal (SPPIM, rede cujos nós são cidades; suas arestas descrevem formais

conexões que tratam estritamente de saúde e instituídas de maneira *top-down*; exemplos de SPPIM são regiões de saúde).

Ainda, a saúde de elementos similares a cidades é vulnerável a (isto é, pode ser afetada por) temas que não tratam diretamente de saúde. Sobre tal vulnerabilidade, é afirmado que o sistema de saúde é multidimensional (ERDMANN et al., 2004). Em coerência, a CRFB/88 amplia a concepção de saúde ao afirmar que o direito à saúde é garantido por medidas sociais e econômicas (BAPTISTA, 2007). Por fim, foi constatada a importância de redes interurbanas (determinada pelo fluxo de transeuntes entre cidades) para descrever o status socioeconômico de áreas metropolitanas (KHALI-MIAB et al., 2019).

Com grande liberdade para interagir, as possibilidades de interação e a velocidade de interação dessa última rede tendem a ser significativamente maiores do que as da SPPIM (marcada por aspectos burocráticos). Uma rede interurbana, similar a apresentada por Khiali-Miab et al. (2019), por possuir elementos interagentes, demonstra similaridade em relação a um sistema complexo (NEWMAN, 2011). Nesses termos, como rede interurbana é capaz de descrever aspecto vinculado à saúde (socioeconômico) de elementos similares a cidades, por analogia (PARRA FILHO; SANTOS, 2002) (a compreensão da última pode ser facilitada pela figura 71), foi formulada hipótese de que o sistema que descreve a saúde dos últimos elementos mencionados apresenta emergentes. Esse sistema, ao estreitar o escopo de discussão e tratar apenas do estado de São Paulo, é nomeado de Saúde em nível Interurbano no estado de São Paulo (SIUSP, rede interurbana cujas arestas se relacionam com saúde e cujos nós são cidades com população total superior a 50 mil habitantes e Áreas de Concentração de População, ACPs). Por ser um sistema composto por muitas partes interagentes que (segundo a hipótese) apresenta emergentes, a SIUSP é classificada como um sistema complexo (sob essa perspectiva, a SIUSP é categorizada em nível de emergentes e em nível de estrutura interativa; no primeiro nível mencionado, suas arestas são referentes à saúde de seus nós, já no segundo nível, suas arestas descrevem interações entre os nós).

Fundamentado na necessidade de aceitação e comprometimento com um paradigma para a prática científica (BAUER, 1999; KUHN, 1962); na caracterização da SIUSP como um sistema complexo; na importância da SIUSP para a SPPIM; na enorme importância de sistemas complexos serem compreendidos por teoria de redes (BARABÁSI, 2014); pela teoria de redes encontrar-se inserida na teoria da complexidade (MITCHELL, 2009), que se alinha, essencialmente, com o PVMH (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014); no fato de a argumentação lógica sem contradições e bem estruturada ser um importante critério para a cientificidade (PRODANOV; FREITAS, 2013); na própria definição da ciência fundamentar-

se na existência de proposições logicamente vinculadas (MARCONI; LAKATOS, 2003) e na definição de paradigma (KUHN, 1962) implicar na possibilidade de produção de argumentos contraditórios na comparação de dois estudos sobre o mesmo objeto, dado que um estudo é fundamentado em um paradigma distinto do que fundamenta o outro, dedutivamente conclui-se que o paradigma da SPPIM, para compreender o sistema que circunscreve (descrito, ao menos em importantes partes, pela SIUSP), deve ser o PVMH, atrelado à teoria da complexidade.

Dadas as propriedades da SIUSP e a definição de sistema complexo, é possível afirmar que a SIUSP é um sistema complexo caso seja confirmada a existência de emergentes nela. No contexto descrito, caso o paradigma vigente da SPPIM não seja capaz de reconhecer comportamentos de sistemas complexos, a existência de emergentes na SIUSP é um problema capaz de levar a uma crise (BAUER, 1999) o vigente paradigma da SPPIM. Tal crise pode conduzi-lo a uma batalha paradigmática. Nela, o novo paradigma (que seria o PVMH, por ser capaz de lidar com a complexidade) tende a levar vantagem caso ele possibilite a resolução de problemas que levaram o antigo à crise (KUHN, 1962).

1.1 Problema de pesquisa

Existem significativos indícios que corroboram que o vigente paradigma da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo Paradigma de Visão de Mundo Holística, alinhado à teoria da complexidade?

1.2 Objetivo geral

Averiguar se existem significativos indícios que corroboram que o vigente paradigma da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo Paradigma de Visão de Mundo Holística, alinhado à teoria da complexidade.

1.3 Objetivos específicos

- Demonstrar diferenças entre o PVMH e o PCN;
- Proporcionar base histórica e conceitual que possibilite a compreensão de perspectivas, teorias e técnicas vinculadas ao PVMH;

- Fundamentado nessa base, descrever componentes (cidades) e meio da SPPIM (redes interurbanas), assim como modo de gestão útil para tratar do arranjo da SPPIM (gestão de redes);
- Explicar a saúde pública no Brasil sob a ótica da tríade holística;
- Apurar se o PVMH destoa do paradigma vigente da SPPIM, isso sob a perspectiva de propriedades de sistemas complexos;
- Com emprego de teorias e técnicas alinhadas com a teoria da complexidade, averiguar a existência de indícios de propriedades de emergentes na SIUSP;
- Identificar se os resultados obtidos pela caça de indícios de propriedades de emergentes na SIUSP corroboram que a compreensão da SPPIM deve sofrer uma alteração paradigmática e sustentar-se no PVMH.

1.4 Justificativa

A busca por emergentes na SIUSP e identificação da coerência entre o PVMH e o paradigma da SPPIM (sob a perspectiva de propriedades de sistemas complexos) são essenciais para que o objetivo geral da pesquisa seja alcançado. A identificação de coerência mencionada demanda menos esforços do que a busca descrita. Assim, a maioria dos esforços é direcionada para essa busca. A identificação de emergentes (e elementos similares a eles) gera benefícios por si só.

A exposição dos últimos inicia-se pela constatação de que emergentes demonstram coerência (WOLF; HOLVOET, 2005) e são analisados (na pesquisa aqui desenvolvida) sob a ótica de rede interurbana no âmbito da saúde. Nesse contexto, possíveis emergentes serão, em diversos procedimentos do estudo, comunidades de elementos urbanos (vinculados a cidades). Assim, se existentes, emergentes atingem coletividades humanas. Logo, por meio da captação e caracterização daqueles, é possível descrever a magnitude e distribuição dos problemas de saúde de populações humanas.

Tais informações podem ser essenciais para o planejamento e avaliação de ações de saúde e para estabelecer prioridades. As últimas utilidades apresentadas, somadas àquela descrição de magnitude e distribuição, compõem dois dos principais objetivos de epidemiologia segundo a Associação Internacional de Epidemiologia (MONTILLA, 2008). Como ações e serviços públicos de saúde devem obedecer ao princípio de emprego da epidemiologia para o

estabelecimento de prioridades, a alocação de recursos e a orientação programática (BRASIL, 1990a), a captação de emergentes demonstra potencial de reforçar a efetivação desse princípio.

Não apenas a identificação de emergentes gera benefícios para a compreensão da SPPIM: apenas o ato de procurá-los proporciona resultados úteis para a literatura. Por exemplo, para efetuar essa busca, as estruturas metodológicas e teóricas que o estudo desenvolve também demonstram importância. Isso pelos essenciais vínculos que demonstram com a teoria da complexidade e por serem empregadas em contexto organizacional:

Embora a pesquisa com foco explícito de emergência em organizações seja um campo novo, já existe um corpo substancial de trabalho sobre fenômenos emergentes que não foram reconhecidos como tal devido à falta de uma estrutura teórica e metodológica adequada. (GOLDSTEIN, 1999, p. 65).

Também, a amplitude temporal selecionada para efetuar a busca por emergentes abrange importante período transitório da regionalização do SUS. Assim, o estudo serve como base para outros analisarem efeitos dessa regionalização em emergentes (ou em elementos similares a esses).

A busca por emergentes também demandou o desenvolvimento de procedimentos que geraram, por si mesmos, resultados úteis para a literatura. Um exemplo é a captação de padrões interurbanos, formados por similaridade entre duas cidades, duas ACPs ou entre uma cidade e uma ACP, tomadas variações em variáveis (que quantificam aspectos de cidades e ACPs em âmbito da saúde).

Ainda, apesar dos mencionados benefícios diretos da identificação emergentes (ou elementos similares) e da busca desses, tais benefícios não são a principal contribuição do trabalho. Ela alinha-se com o intuito nuclear da pesquisa, que trata de paradigma.

Essa contribuição é composta pela identificação do paradigma da SPPIM, da averiguação de possibilidade de categorização da SIUSP como um sistema complexo (sob a ótica de representante dela) e da investigação se típicos comportamentos desse tipo de sistema correspondem às expectativas do paradigma vigente da SPPIM. Assim, é testada a possibilidade de que um novo paradigma (válido para a SPPIM) emerja (BAUER, 1999). Como esse processo se fundamenta no PVMH e o mesmo paradigma é o possível emergente, é testada não apenas a possibilidade de mudança paradigmática, mas também se o PVMH tende a se consolidar (KUHN, 1962) como novo paradigma vigente que sustenta a compreensão da SPPIM.

Por fim, sob a perspectiva da tríade holística, a SPPIM e o PVMH apresentam notável congruência (tratam de redes e valorizam a cooperação). Entretanto, tal congruência apresenta

lacuna: a escassez de análises da SIUSP e da SPPIM fundamentadas no PVMH. Nesses termos, tal lacuna pode representar desperdícios de oportunidades de úteis pesquisas. A pesquisa coopera para sanar isso ao analisar a SIUSP com base no PVMH e por construir arranjo teórico fundamentado no PVMH, o que facilita futuras pesquisas também sanarem a lacuna aqui discutida.

1.5 Estrutura do trabalho

Três diretrizes estruturam todo o trabalho. A primeira ordena-o em nível macro e manifesta-se em trajetória que, tomadas a SIUSP e a SPPIM como referenciais, parte de temas mais abrangentes e caminha para mais específicos.

A segunda organiza o trabalho em nível meso, que é a estruturação de cada seção. Ela dá-se pela combinação de dois padrões. O primeiro reconhece as especificidades de cada seção, assim, de acordo com tais especificidades, fornece liberdade para cada seção tomar um formato específico. O outro reconhece, além das especificidades, comunalidades entre as seções.

A principal dessas é a trajetória histórica que caracteriza os temas de cada seção. Essa trajetória parte de aspectos vinculados ao PCN e atinge propriedades atreladas ao PVMH. Tal trajetória, se arranjada de acordo com a tríade holística, apresenta formato coerente. Assim, esse arranjo caracteriza grande parte do trabalho.

Como resultado da combinação entre a primeira diretriz e o segundo padrão da segunda diretriz, o trabalho apresenta, sobre a perspectiva dos conteúdos expressos em cada seção, formato semelhante a um fractal. Fractais são objetos autossimilares, cujas partes pequenas se assemelham com suas partes maiores, assim como uma árvore, uma vez que um galho se assemelha com ela toda. Destarte, o todo do trabalho contém informações de suas próprias partes, as partes contêm informações do todo e das outras partes.

Por fim, a terceira diretriz determina que a extensão de cada tema expresso no trabalho limita-se a sua utilidade. A última, de cada tema, é determinada pela potencialidade de aplicação empírica dele para melhor compreender e gerenciar o objeto de estudo. Considerada essa potencialidade, ainda, quanto maior a escassez de emprego de determinado tema para tratar a SPPIM, maior é considerada a utilidade desse tema.

Tomadas as diretrizes apresentadas, o trabalho é estruturado em 8 seções. A primeira é aqui expressa. Ela desenvolve, em essência, a lógica que organiza e direciona todo o trabalho. Ao fazer isso, atinge o problema de pesquisa e, alinhado com esse, expressa o objetivo geral e

os objetivos específicos. Por fim, demonstra a importância da pesquisa realizada e a estruturação do trabalho.

Na sequência, a seção 2 é chamada de “Ascensão e propriedades vinculadas ao Paradigma de Visão de Mundo Holística”. Ela aprofunda o conhecimento do conceito de “paradigma” e da impossibilidade de coexistência de dois paradigmas incompatíveis. Ela também esclarece origem e propriedades basilares que qualificam temas expressos em todas as outras seções da revisão de literatura. Desse modo, tal seção facilita (e, em alguns casos, possibilita) a compreensão de todo o texto. Também, essa segunda seção trata de temas vinculados à teoria da complexidade, que são a base para a comparação das semelhanças entre ela e a saúde pública em nível interurbano. Assim, facilita o semear de ideais que podem gerar nova compreensão da saúde em tal nível.

A terceira seção é chamada de “Redes e Organizações”. Ela é guiada, inicialmente, pelo progresso da reticularização de estruturas de organizações e da percepção de tal reticularização. Nesse progresso, expressa propriedades de organizações em redes. Ainda, como o objeto de estudo é marcado pelo arranjo reticular, engendra compreensão de meios de gerenciar esse arranjo.

Já a quarta seção é nomeada de “Redes, Cidades e Regiões”. Ela apresenta o avanço da captação da estrutura reticular e de fenômenos vinculados a essa estrutura em cidades (por vezes descritas como sistemas urbanos, similares a ACPs) e em regiões (aqui compreendidas como redes de cidades cujas conexões podem ser não extremamente intensas, diferentes das ACPs). Caracteriza ambos os elementos de acordo com a teoria da complexidade e, sob essa perspectiva, demonstra conflito para gerenciar, de maneira *top-down*, tais elementos marcados pela lógica *bottom-up*.

A quinta seção, “Saúde no Brasil”, expressa como, desde seu início, a saúde no Brasil esteve vinculada a aspectos integrativos. Ainda, essa seção define e expressa as principais propriedades do SUS. Por fim, analisa a regionalização da saúde, que é dividida em fases de acordo com as características que demonstra.

A seção seis, “Aspectos metodológicos”, descreve métodos empregados, assim como os motivos dessas escolhas, para que o objetivo geral do trabalho seja atingido. A próxima seção, “Resultados e Discussões”, é composta pela: apresentação dos resultados atingidos; a análise deles sob a perspectiva do arcabouço teórico construído ao longo do texto e pela demonstração de alcance do objetivo geral. Na última seção, “Considerações finais”, é apresentado o resumo de toda a reflexão feita no trabalho, os principais resultados encontrados, locais de alcance dos objetivos específicos e do geral, limitações do trabalho e sugestões para pesquisas futuras.

2 ASCENSÃO E PROPRIEDADES VINCULADAS AO PARADIGMA DE VISÃO DE MUNDO HOLÍSTICA

Tomada a mudança de paradigma, do Cartesiano-Newtoniano (PCN) para o de Visão de Mundo Holística (PVMH), a tensão básica é entre as partes e o todo. A ênfase nas partes é chamada de atomista ou reducionista; já a ênfase no todo, de holística ou ecológica. A primeira ênfase atrela-se ao estudo da substância (composição), a segunda, da forma (padrão) (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014).

Para que a mudança de paradigma ocorra, é necessária a mudança de valores, uma vez que os últimos são a força motriz da ciência (CAPRA, 2006). Atrelada à perspectiva paradigmática, existem vínculos entre valores e pensamentos, manifestos na possibilidade de agrupá-los (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014). Esses grupos são determinados por similaridades que ambos apresentam em mudanças que os caracterizam. As similaridades são: o ponto de partida - autoafirmação – e o de chegada – integração-. Assim, pensamentos e valores, conjuntamente, compõem duas tendências: uma auto-afirmativa; outra integrativa. A primeira é atrelada ao PCN; a segunda, ao PVMH.

Figura 1 – Valores e pensamentos das tendências atrelados aos paradigmas

		Auto-afirmativo	Integrativo
Valores	{	expansão	conservação
		competição	cooperação
		quantidade	qualidade
		dominação	parceria
Pensamentos	{	reducionista	holístico
		linear	não-linear

Fonte: Adaptado de Capra (2006, p. 27).

O PCN apresenta como base o reducionismo, que é uma das características essenciais da tendência autoafirmativa. O mesmo paradigma, além de ser caracterizado pelo reducionismo, também o é pela tendência à quantificação, previsibilidade e controle (BAUER, 1999). Tais tendências vinculam-se ao pensamento linear⁴, que caracteriza a tendência autoafirmativa. Por fim, o PCN é correlato com a percepção da evolução como uma luta

⁴ O pensamento linear é um raciocínio sequencial, que se move de acordo com uma ordem clara, de um passo para outro (FELDMAN, 2012).

competitiva pela existência. Congruente com isso, a tendência autoafirmativa possui como um de seus valores a competição (CAPRA; LUISI, 2014; CAPRA, 2006).

Já o PVMH apresenta, como expressa seu nome, a percepção holística como característica essencial. O pensamento holístico é um dos traços definidores da tendência integrativa. O PVMH também contribui para romper a base da tendência à quantificação, previsibilidade e controle ao demonstrar pensamento não-linear, pensamento esse que a tendência integrativa apresenta como característica inerente à si. Por fim, a tendência (CAPRA; LUISI, 2014; CAPRA, 2006) e o paradigma comentados atrelam-se à valorização da cooperação.

Como a mudança de paradigma demanda mudanças de percepção, maneiras de pensar e de valores (CAPRA, 2006), é compreensível que aquela mudança seja acompanhada de *stress* e insegurança. Assim, há resistência a um novo paradigma. Todavia, isso não é problema para esse último, uma vez que, quanto maior a resistência, maior a garantia de que a sua aceitação tenha sido cercada de todas as precauções metodológicas (BAUER, 1999).

Sob a ótica da trajetória histórica de ascensão do PCN, a compreensão das características desse paradigma é aprofundada.

2.1 Ascensão e reinado do Paradigma Cartesiano-Newtoniano

Em um primeiro momento, as lentes da ciência foram marcadas por tendência a captar propriedades orgânicas: as ciências gregas, desde sua gênese (século VI a.C), compreendiam a ordem do cosmos como a de um sistema vivo. Nesse contexto, aspectos espirituais moldavam o paradigma científico: na época medieval, cientistas consideravam que questões que diziam respeito a Deus, à alma humana e à ética eram da mais alta importância. Por fim, na mesma época, a ciência apresentava como principal objetivo entender o significado e a importância de elementos, e não seu controle e sua previsão (CAPRA; LUISI, 2014).

Em coerência com a conectividade entre ciência e religião, a estrutura científica da visão de mundo orgânica era fundamentada em Aristóteles e na Igreja. Ainda, as obras de Aristóteles foram combinadas com a teologia e ética cristãs por Tomás de Aquino. Tal fusão entre ciência e teologia gerou a impossibilidade da existência de contradição entre fé e razão, uma vez que ambos possuíam o mesmo autor, que é Deus (CAPRA; LUISI, 2014).

Consequentemente, um pensamento contrário a um do arcabouço estabelecido por Aquino era visto como um confronto direto com Deus, confronto esse considerado heresia. Assim, a proximidade entre ciência e religião trouxe limitações para a primeira (CAPRA;

LUISI, 2014); limites esses que, quando transpassados, podiam gerar dolorosas consequências para os transponentes (BAUER, 1999).

Sob a perspectiva de tais restrições, é compreensível que “todo o desenvolvimento da ciência, desde a Renascença, deu-se sob forma de uma reação contra a visão de mundo anterior” (BAUER, 1999, p. 132). Em coerência, Sampson (1978) afirma que a ciência emergente era um esforço para se libertar das formas sociais anteriores. Como, até o século XV, os relacionamentos pessoais eram caracterizados por subordinação das necessidades individuais pelas do coletivo (CAPRA; LUISI, 2014), o movimento discutido era libertador e valorizava o individualismo (SAMPSON, 1978).

Nesse contexto, descobertas científicas começavam a fazer com que ruíssem as bases do conhecimento até então tomado como verdade. Isso é expresso no quadro 1.

Quadro 1 - O choque entre Aristóteles e Novas descobertas

<i>Aristóteles</i>	<i>Novas descobertas</i>
Afirmava que o movimento na Terra difere do existente nos céus: na Terra, objetos movimentam-se em linhas retas e apenas quando algo provoca tal movimentação; já nos céus, objetos celestiais movimentam-se constantemente, movimentos esses que descrevem círculos perfeitos, centrados na Terra (MITCHELL, 2009).	Galileu constatou que leis de movimento na Terra poderiam explicar algumas características de movimento nos céus e que o descanso não é o estado natural dos objetos. Ainda, Kepler mostrou que o movimento de planetas não é circular, mas sim elíptico (MITCHELL, 2009).
Pregava que objetos na Terra movimentam-se de acordo com seus respectivos componentes. Por exemplo, uma pedra cai na terra pois é composta majoritariamente pelo elemento “terra” e a fumaça, por ser composta em sua maior parte de “ar”, sobe ao céu. Ainda, objetos mais pesados, presumivelmente compostos por mais terra, caem mais rápido que objetos mais leves (MITCHELL, 2009).	Galileu declarou que, no vácuo, objetos de distintos pesos caem na mesma velocidade (MITCHELL, 2009).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, a afirmação de Copérnico (século XVI) de que a Terra não era o centro do universo, contrário ao que defendia a Igreja, marca o início da revolução científica (CAPRA; LUISI, 2014).

2.1.1 A Revolução Científica

O fato de a revolução científica ter-se iniciado com a afirmação da não centralidade da Terra em relação ao universo, somado à perseguição que a ciência sofreu pela Igreja, podem

ser vistos como influenciadores da trajetória histórica da ciência por muito tempo. Isso ocorre pois a descoberta de Copérnico, por apontar posição geográfica periférica da Terra, proporcionou interpretação de insignificância do homem em relação ao Criador (CAPRA; LUISI, 2014). Assim, na visão de Freud, a descoberta da não centralidade da Terra se estabelece como a primeira das três feridas narcísicas⁵ que a humanidade sofreu (PAIVA, 2010).

Tomado esse cenário, como em um movimento que busca distanciamento da noção de espírito (dada a perseguição sofrida exercida pela igreja) e de concepções não estritamente racionais, como sentimento e moral (tomada a primeira ferida narcísica), a ciência foi se descomprometendo, em prol de sua suposta “neutralidade”, de questões de fundo ético e moral, que passam a ser tarefas da filosofia e da religião. A ciência também se descompromete de questões estéticas, que são papel da arte. Esses movimentos de descomprometimento por parte da ciência também podem ser vistos como originados pela associação de conhecimento unicamente à ciência (em detrimento das áreas de filosofia, arte e campo referente à religião) (BAUER, 1999).

O distanciamento da ciência, especialmente em relação ao sentimento e à religião, é demonstrado pela figura 2. Essa é fundamentada nas quatro funções psíquicas básicas, pelas quais é feita a apreensão de conhecimento, apontadas por Jung. Essas funções são: o pensamento, a sensação, o sentimento e a intuição. Na figura, em tradição de sabedoria, inclui-se o legado de práticas religiosas (BAUER, 1999). Logo, a ciência localiza-se no oposto de sentimento e do campo referente à religião.

Figura 2 – Campos complementares do conhecimento humano

Fonte: Adaptado de Weil (1993, p. 19).

⁵ As outras duas são geradas por Darwin e pelo próprio Freud. Darwin por explicar que seres humanos não são especiais em sua origem e, Freud, por afirmar que o ser humano não é sempre guiado por motivos racionais ou até motivos conscientes, dado que a razão é vista como fator que diferencia homem de animais (NOZICK, 1993).

Desse modo, pelos movimentos descritos, “a ciência afastou-se da própria vida” (BAUER, 1999, p. 132). Ainda, segundo Jung (apud CREMA, 1989, p. 23), “o espírito começou a degenerar em intelecto”. Por fim, Bauer (1999, p. 132) afirma que, “da repressão da ciência em nome de Deus, passamos à repressão da experiência sublime em nome da ciência [...]”.

Em congruência com essas restrições que a ciência se impôs, Galileu “expulsou a qualidade da ciência” (CAPRA, 2006, p. 24). Ou seja, ele limitou a ciência apenas ao estudo de fenômenos e propriedades quantificáveis (CAPRA; LUISI, 2014; BAUER, 1999; CAPRA, 2006). Por fim, Galileu empregava abordagem empírica (CAPRA; LUISI, 2014).

Tal abordagem era defendida por Bacon (CAPRA; LUISI, 2014). Em consonância com isso, esse último foi o criador do método empírico de investigação, que prega que a razão deve estar submetida à prova de experimentação (BAUER, 1999). Bacon ainda defendia a ideia de que a finalidade da ciência é proporcionar ao homem poder sobre a natureza. Tal autor afirma que a natureza deveria ser “acossada em seus descaminhos [...] obrigada a servir [...] escravizada [...] reduzida à obediência [...] [e o objetivo do cientista] é extrair da natureza, sob tortura, todos os seus segredos” (BAUER, 1999, p. 23). Com tais escritos de Bacon, a percepção orgânica da natureza é enfraquecida. Esse enfraquecimento é corroborado por Descartes (CAPRA; LUISI, 2014).

Descartes foi o principal mentor do princípio da causalidade, que aponta que os efeitos decorrem necessariamente das causas (BAUER, 1999). O mesmo autor ainda aprofundou tal pensamento causal e apontou para um sentido de causalidade linear, por meio da afirmação de que “não há nada no efeito que não tenha existido de forma semelhante ou de alguma forma superior na causa” (DESCARTES apud CLATTERBAUGH, 1980, p. 382).

Descartes também colabora para a fragmentação do conhecimento, que distancia a ciência da vida. Isso por meio de fortalecer a limitação da ciência no âmbito matemático; dividir mente e matéria (aplicado ao homem, a divisão entre corpo e espírito) e pregar a ênfase nas partes ao invés do todo. Esse último processo ocorre por meio da criação do método analítico. Tal método consiste em fragmentar fenômenos complexos em partes, com o intuito de compreender o comportamento do todo a partir das propriedades dos fragmentos (CAPRA; 2006).

Na essência desse método, é visível a influência da valorização do individualismo atrelado a essa ciência emergente. Isso pois o individualismo facilitou desenvolvimento do modelo científico atomista e analítico (SAMPSON, 1978), manifesto no método analítico

cartesiano. Alinhado com isso, “o interesse na percepção imediata e direta de totalidades desapareceu” (MANNHEIM, 1954, p. 148).

Em coerência com a fragmentação, sobre a divisão entre mente e matéria, Descartes, utilizando-se de um procedimento que duvida da veracidade de tudo, nota que, para tudo negar, deve, necessariamente, ser um agente pensante. Em seguida, examina a validade de “penso, logo existo” e conclui que tal pensamento resiste até as extravagantes suposições de céticos. Conjuntamente, o mesmo autor define que, utilizando o mesmo raciocínio empregado para provar a existência de si mesmo, não poderia provar a existência de seu corpo. Consequentemente, corpo e espírito situam-se em campos distintos e o homem não precisa do primeiro para existir (DESCARTES, 2013).

Esse distanciamento entre mente e matéria contribuiu para a crença de que os valores humanos (oriundos da alma) encontram-se em dimensão distinta dos fatos científicos (da matéria). Desse modo, esses fatos podem ser compreendidos de maneira pura, não afetados pelo pesquisador (CAPRA; LUISI, 2014). Ao legado de Descartes, é somada a concepção da natureza como uma máquina perfeita, governada por regras matemáticas (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014) e, assim, o aprofundamento da limitação da ciência ao âmbito matemático: na sua visão, “ciência era sinônimo de matemática” (CAPRA; LUISI, 2014, p. 47).

Nesse ponto, é importante destacar que o cisma entre ciência e religião não foi total. Descartes e Newton, os dois maiores artífices do Paradigma Cartesiano-Newtoniano, acreditavam em Deus. Em coerência com isso, segundo Merton, parte componente de tal paradigma era a presunção de uma ordem na natureza, a ordem de Deus (SAMPSON, 1978), que se caracteriza como um controlador centralizado (WILENSKY; RAND, 2015). Tal ordem é visível no pensamento de Newton.

Alinhado com a visão cartesiana, Newton estuda o universo. Nesse exercício, Newton descreve um grande palco, no qual todos os fenômenos físicos ocorrem (dado que esses não afetam aquele). Tal palco é o espaço físico tridimensional, um espaço absoluto, que sempre permanece homogêneo e imóvel. Todas as mudanças no mundo físico, na percepção de Newton, são descritas por uma dimensão separada: o tempo. Esse também era visto como absoluto (e desconexo do mundo material). O tempo, segundo Newton, flui de maneira uniforme e contínua, do passado ao futuro (com passagem pelo presente) (CAPRA; LUISI, 2014).

Os elementos que se moviam nesse espaço e tempo absolutos eram partículas materiais, com as quais toda a matéria era feita. Deus criou tais partículas, assim como as forças presentes entre elas e leis fundamentais do movimento. O objeto e seu comportamento já foram determinados, assim, ocorre uma trajetória de eventos irresistíveis. Tudo o que já aconteceu

teve uma causa definida e gera uma consequência definida, e assim segue infinitamente. Também, grande parte dessas partículas conduzia ao fim para qual Deus as formou (NEWTON, 1952/1730⁶ apud CAPRA; LUISI, 2014). Assim, de maneira central e determinística (WILESNKY; RAND, 2015), Deus cria ordem.

Desse modo, a mecânica de Newton reforça a visão do universo como um relógio, no sentido maquinal determinístico (MITCHELL, 2009). Ou seja, Newton descreve o universo como um sistema mecânico que opera de acordo com leis matemáticas exatas (CAPRA; LUISI, 2014).

A mecânica newtoniana demonstra essenciais semelhanças com o pensamento cartesiano: rigor matemático, causalidade e, como combinação dessas duas semelhanças, governabilidade da natureza pelas suas regras matemáticas. Aquela mecânica foi empregada para analisar uma variedade de fenômenos e obteve estrondoso sucesso em tais análises. A teoria de Newton foi capaz de explicar os movimentos de marés, cometas, luas e planetas. Assim, o meio utilizado demonstra alinhamento com o pensamento cartesiano e os resultados obtidos foram surpreendentemente precisos para a época. Tais fatos coroaram a visão cartesiana determinística e maquinal: não só o mundo, como o universo passaram a ser vistos como grandes máquinas (CAPRA; LUISI, 2014; BAUER, 1999).

Desse modo, novamente, a ciência transmuta-se em relação ao seu passado e à religião. Anteriormente, a primeira era preocupada com entender o significado e importância de elementos e era buscada “para a glória de Deus”. Todavia, com a substituição da visão orgânica do mundo pela visão mecânica, o objetivo da ciência passa a ser dominar e controlar a natureza. Esse novo objetivo demonstra claro alinhamento com os pensamentos de Bacon, todavia, os grandes responsáveis pela mudança de visão do mundo são Descartes e Newton (CAPRA; LUISI, 2014).

O resultado estruturado desse conjunto de conceitos, valores e técnicas compõe o Paradigma Cartesiano-Newtoniano, nomeado em referência a dois de seus principais pensadores. Esse paradigma fundamenta-se: na busca de relações ordenadas de causa e efeito entre eventos; na visão de que a natureza deve servir à sociedade humana; no reducionismo; na tendência à quantificação, regularidade, previsibilidade e controle e no determinismo mecanicista (BAUER, 1999). Tal paradigma ainda se vincula à valorização da competição

⁶ NEWTON, I. **Opticks**: A treatise of the reflections, refractions, inflections & colours of light. 4. ed. Nova York: Dover, 1952/1730.

(CAPRA; LUISI, 2014). O sucesso do PCN gerou sua propagação para diversas áreas do saber (BAUER, 1999; GAUKROGER, 2005; CAPRA, 1983).

Todavia, com o progresso da ciência, foram feitas descobertas que pulverizaram alguns pilares de tal paradigma (BAUER, 1999). Das propriedades enfraquecidas vinculadas ao PCN, destacam-se três: reducionismo, valorização da competição e concepção de previsibilidade como certezas.

Esse destaque é fornecido pois a tríade holística (composta pelos antagônicos daqueles três pilares) emerge, vezes em partes e vezes de maneira completa, em diversos temas da ciência que relacionam-se com o objeto de estudo (saúde em nível interurbano). Exemplos desses temas são gestão de redes, dinâmicas regionais e a SPPIM. Assim, o ataque às bases do PCN, contrárias à tríade holística, proporciona fortalecimento da percepção de fulcros que descrevem o objeto de estudo do trabalho aqui desenvolvido, assim como tema a ele correlatos.

As duas últimas componentes da tríade holística emergem, naturalmente, em grande parte, da primeira (NOWAK, 2006b; SANTOS; PACHECO, 2005; WOLF; HOLVOET, 2005). Isto é, rede pode ser vista como uma base que sustenta tal tríade.

2.2 A queda do reducionismo: teoria de redes

A cidade de Königsberg, localizada na Prússia Oriental, possuía sete pontes no ano de 1735 (BARABÁSI, 2014) que cruzavam um rio. Na figura 3, aquelas são demonstradas como linhas de cor verde clara. Os habitantes dessa cidade se divertiam pensando se era possível fazer um caminho que cruzasse as sete pontes sem cruzar duas vezes pela mesma ponte. No mesmo ano, o matemático Euler obteve resposta para tal problema (BARABÁSI, 2002).

Figura 3 – Mapa de Königsberg que representa o problema das pontes dessa cidade

Pontes representadas na cor azul clara e cada círculo colorido representa uma área da cidade.

Fonte: Compeau, Pevzner e Tesler (2011, p. 987).

Euler visualizou esse problema como um grafo e, assim, deu início ao ramo da matemática hoje conhecido como teoria dos grafos. Grafos e redes, na literatura científica, são termos utilizados de maneira intercambiável (BARABÁSI, 2014). Redes são conjuntos de elementos (chamado de nós, representados por círculos) que possuem elos entre si (esses chamados de arestas, representadas por linhas) (NEWMAN, 2003). No problema das pontes, os nós eram as áreas de terra separadas pelo rio. Na figura 3, os nós são os círculos verde, vermelho, azul e laranja que, respectivamente, na figura 4, são os nós A, B, C e D. As pontes eram as arestas. Na figura 4, as arestas são as linhas verdes e finas que conectam os nós (COMPEAU; PEVZNER; TESLER, 2011; BARABÁSI, 2002).

Figura 4 – Ilustração da rede de terras (nós) e pontes (arestas) de Königsberg no tempo de Euler

Fonte: Adaptado de Barabási (2014, p. 3, ch. 2).

Para resolver o problema, Euler constatou que um caminho contínuo que passe por todas as pontes deve ter apenas um ponto de partida e um ponto de chegada. Em seguida, Euler apontou que nós com número ímpar de arestas devem ser ou o começo ou o fim da jornada. Assim, aquele caminho é inexistente para um grafo que possua mais de dois nós com número ímpar de arestas. Como o grafo de Königsberg possuía quatro nós com número ímpar de arestas, não existia um caminho que passasse por todas as pontes sem repetir a passagem por nenhuma dessas (BARABÁSI, 2002).

Assim, a prova de Euler passou a mensagem de que redes possuem propriedades codificadas em suas estruturas e que tais propriedades limitam ou reforçam o comportamento da rede à que se referem (BARABÁSI, 2014). Por exemplo, no problema de Königsberg, em 1875 foi construída uma nova ponte que ligava os nós B e C. Desse modo, ambos passaram a possuir quatro arestas e, assim, apenas dois nós (A e D) possuíam número ímpar de arestas.

Logo, passou a existir um caminho que cruzasse todas as pontes sem repetir nenhuma delas. Isso só foi possível por uma mudança na construção e na estrutura do grafo (BARABÁSI, 2002).

Tal fato ataca as bases do reducionismo e do método analítico cartesiano, uma vez que fragmentar o todo elimina propriedades essenciais para compreender suas características. Em congruência com tal pensamento, Barabási (2014, p. 6. ch. 1) afirma que “nós nunca entenderemos sistemas complexos a menos que desenvolvamos uma compreensão profunda das redes por trás deles” e que “a construção e estrutura de grafos ou redes é a chave para a compreensão do mundo complexo ao nosso redor” (BARABÁSI, 2002, p. 12).

2.2.1 Características elementares de redes

Redes apresentam características elementares, necessárias para o aprofundamento da sua compreensão. Essas características são: diferença entre redes dirigidas e não dirigidas; diferença entre redes ponderadas e não ponderadas; principais métricas de rede e suas representações simbólicas e, por fim, matriz de adjacência.

2.2.1.1 Redes dirigidas e não dirigidas; redes ponderadas e não ponderadas

Arestas determinam se redes são dirigidas ou não dirigidas; ponderadas ou não ponderadas. Em redes não dirigidas, o fato de os nós estarem conectados indica sentido duplo entre eles. Desse modo, essa conexão pode ser representada por uma aresta em formato de uma linha simples que não indica direção, chamada de aresta não dirigida (NEWMAN, 2003). Em uma rede social, por exemplo, uma aresta pode indicar amizade entre os nós conectados.

Figura 5 – Exemplo de rede não dirigida

Fonte: Barabási (2014, p. 12, ch. 2).

Já em redes dirigidas, todas as arestas demonstram direção específica, chamadas de arestas dirigidas ou arcos (NEWMAN, 2003; NEWMAN, 2010). Assim, tais arestas indicam sentido único (NEWMAN, 2003). Os arcos podem ser representados por uma linha com uma flecha que parte de um nó e aponta para outro (NEWMAN, 2010). Em uma rede social (esse exemplo será mantido nessa parte), uma aresta que parte de um nó e atinge outro pode significar que o primeiro considera o segundo como amigo.

Figura 6 – Exemplo de rede dirigida

Fonte: Barabási (2014, p. 12, ch. 2).

Já sobre a dicotomia de redes em ponderadas e não ponderadas, caso uma rede seja composta por arestas que podem apresentar apenas dois valores (0 e 1), essa é uma rede não ponderada. Assim, ela expressa apenas se elementos estão conectados (1) ou não (0). Em outro caso, se uma rede for composta por arestas que representam força de conexão (e não apenas se a última é existente ou não) e, desse modo, é possível que arestas apresentem distintos valores entre si (além de 0 e 1), essa é uma rede ponderada (NEWMAN, 2010). Em uma rede social, o peso da aresta pode indicar o quanto os dois nós conectados são amigos. Maior peso de conexão pode ser representado graficamente por uma aresta mais espessa, como demonstrado na figura 7.

Figura 7 – Exemplo de rede ponderada

Fonte: Barabási (2014, p. 289, ch. 2).

Os pesos das arestas em redes ponderadas são normalmente positivos, todavia, podem ser negativos. Novamente em uma rede social, pesos positivos podem indicar amizade e negativos, inimizade (NEWMAN, 2010). Por fim, apesar de raro, redes ponderadas podem possuir todas as arestas de mesmo peso.

As quatro classificações de redes expressas, apesar de serem basilares, não possibilitam a captação de propriedades cruciais de redes, como a identificação dos seus nós mais importantes. Tais propriedades são captadas por métricas de redes.

2.2.1.2 Principais métricas de rede e suas representações simbólicas

Com a ascensão de computadores e redes de comunicação, é possível coletar quantidade muito maior de dados do que anteriormente a tais ascensões. Isso possibilita formação de redes muito grandes, como a expressa na figura 8, que é representação gráfica da rede da internet. Nessa figura os nós são roteadores e as arestas, conexões de internet (NEWMAN, 2003).

Figura 8 – A rede da internet

Fonte: Newman (2003, p. 170).

Em redes pequenas, a análise visual de sua imagem gráfica possibilita resposta de questões específicas sobre tal rede. Todavia, para uma rede muito grande, como a da figura 8, a análise visual “é inútil” (NEWMAN, 2003, p. 171). Logo, deve ser utilizada outra maneira para compreender a rede. Um método desenvolvido e utilizado com esse intuito é a análise de propriedades estatísticas da rede.

Também pela emergência de possibilidade de estudo de grandes redes, o enfoque de estudo daquelas propriedades foi transmutado. A ênfase, anteriormente fornecida para o estudo de propriedades de nós e arestas individualmente, passa a ser dada para a análise de propriedades de grande escala em redes (NEWMAN, 2003). Como grande parte dessas propriedades de grande escala se fundamentam em propriedades de pequena escala, métricas que representam propriedades dos distintos níveis de redes são apresentadas. Por vezes, os níveis podem ser divididos em três: micro, meso e macro. Primeiro são demonstradas métricas de nível micro e, em sequência, suas conexões com níveis superiores (meso e/ou macro).

2.2.1.2.1 As relações entre k , P_k , L e N

O grau é uma medida que cada nó possui. O grau é a quantidade de arestas que um nó possui com outros nós. O grau de um nó é representado por k , assim, caso um nó seja nomeado de i , o grau desse nó é chamado de k_i (BARABÁSI, 2014, p. 8, ch. 2). Na rede representada pela figura 9, o k de C é 3, de B é 2, o de A também é 2 e o de D é 1.

Figura 9 – Exemplo de rede

Fonte: Elaborada pelos autores.

Já em perspectiva macro, redes são nós conectados por arestas. Assim, duas medidas essenciais de tal perspectiva são o número total de nós e o de arestas da rede. O número total de nós da rede é descrito por N e, de arestas, por L (de *links*). O L de uma rede pode variar entre 0 e L_{max} . O último indica o número máximo de possíveis conexões de uma rede e é determinado por $N \cdot \frac{(N-1)}{2}$ (BARABÁSI, 2014). Para a rede expressa na figura 9, $N = 4$; $L = 4$ e $L_{max} = 6$. Com a divisão de L por L_{max} é obtida a densidade da rede, que quantifica a fração de arestas existentes dada a quantidade máxima de conexões possíveis. A densidade da rede da figura 9 é de 0,667.

Novamente sobre o grau, como esse é determinado pelo número de arestas que um nó possui, L possui relação com k . Para uma rede não dirigida, L é determinado pela somatória do

grau de todos os nós da rede e a divisão do resultado da somatória por dois. A divisão (por dois) tem a função de eliminar a dupla contagem de arestas (BARABÁSI, 2014). Matematicamente:

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N k_i. \quad (2.1)$$

Além disso, L demonstra relação com o grau médio de uma rede, que é representado por $\langle k \rangle$. Para uma rede não dirigida, $\langle k \rangle$ é determinado pela multiplicação de todas as arestas por “dois” e divisão desse resultado pelo número total de nós da rede. Isso também equivale a somar o grau de todos os nós da rede e dividir pela quantidade de nós que a rede possui (BARABÁSI, 2014) (para a rede expressa na figura 9, $\langle k \rangle = 2$). Matematicamente:

$$\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{2L}{N}. \quad (2.2)$$

Já para redes dirigidas, cada nó possui dois tipos de arestas: as que partem dele e as que chegam nele. Logo, cada nó possui dois tipos de graus: o grau de saída (arestas que partem do nó) e o grau de entrada (arestas que chegam ao nó). Assim, não há recontagem nesse tipo de rede. Consequentemente, na equação 2.1, o denominador de valor “dois” deve ser eliminado, desse modo o L , para redes dirigidas, toma a forma de (BARABÁSI, 2014)

$$L = \sum_{i=1}^N k_i^{entrada} = \sum_{i=1}^N k_i^{saída} \quad (2.3)$$

e, em coerência com a mesma explicação, o $\langle k \rangle$, para redes dirigidas, é determinado por (BARABÁSI, 2014)

$$\langle k^{entrada} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i^{entrada} = \langle k^{saída} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i^{saída} = \frac{L}{N} \quad (2.4)$$

Aprofundando o estudo sobre grau de nós e seu impacto em nível macro, para ser feito o cálculo da maioria de propriedades de redes, é necessário conhecer a distribuição de grau da rede (propriedade de nível macro da rede). Ainda, a distribuição de grau da rede determina muitos fenômenos de redes (como robustez da rede e propagação de vírus) (BARABÁSI, 2014).

A distribuição de grau é o histograma normalizado dado por $P_k = \frac{N_k}{N}$, onde N_k é o número de nós com grau k . Assim, a distribuição de grau fornece a probabilidade que um nó selecionado aleatoriamente possua grau k (BARABÁSI, 2014).

Por exemplo, na figura 10, a) representa uma rede e b), a distribuição de grau dessa rede. Como expresso, o histograma contém os graus dos nós (eixo horizontal) e o resultado da divisão da quantidade de nós de determinado grau pela quantidade total de nós da rede (no eixo vertical). Por exemplo, em a) existem dois nós (nós 3 e 4) com grau dois (possuem duas arestas com outros nós), logo $2/4$ (que é N , isto é, o número total de nós da rede) resulta em 0,5, expresso em b). Essa é a probabilidade de ser selecionado aleatoriamente um nó nessa rede com grau 2. Nesse exemplo, P_k , para $k = 0$ até 3: $p_0 = 0$, $p_1 = 1/4$, $p_2 = 1/2$, $p_3 = 1/4$.

Fonte: Barabási (2014, p. 9, ch. 2).

Como demonstrado, o grau fundamenta diversas métricas de redes. O coeficiente de agrupamento é uma dessas, apresentada a seguir.

2.2.1.2.2 Coeficiente de agrupamento

O coeficiente de agrupamento local (que é representado por C_i de *clustering*) de um nó i é determinado pelo número de conexões que seus vizinhos (os nós conectados diretamente ao nó i) possuem entre si, dividido pelo máximo número de conexões possíveis entre esses vizinhos. Matematicamente (BARABÁSI, 2014),

$$C_i = L_i / k_i \cdot (k_i - 1) / 2 \quad (2.5)$$

onde L_i representa o número de arestas entre os vizinhos de i . Assim, o coeficiente de agrupamento local expressa, analogicamente, quantos dos meus amigos são amigos entre si (BARABÁSI, 2002). Esse coeficiente ainda representa a densidade local de arestas na

vizinhança de um nó e a probabilidade de dois vizinhos de um determinado nó estarem conectados (BARABÁSI, 2014). Na rede da figura 9, os coeficientes de agrupamento local de A , B , C e D são, respectivamente, 1, 1, $1/3$ e 0 (isso pois D possui apenas um vizinho).

O agrupamento pode ser utilizado para gerar uma medida global da rede (isto é, uma métrica que quantifica uma propriedade de nível macro), que é o coeficiente de agrupamento médio, representado por $\langle C \rangle$. Esse é determinado pela média do agrupamento de todos os nós de uma rede (WATTS; STROGATZ, 1998). Assim, o agrupamento médio fornece a probabilidade de dois vizinhos de um nó selecionado aleatoriamente estarem conectados (BARABÁSI, 2014). Também representa, dados todos os nós da rede, a densidade média de arestas de nós vizinhos. Para a rede representada na figura 9, $\langle C \rangle \approx 0,583$.

Ainda, é existente métrica que se focaliza não no grau do nó, mas sim na topologia da rede desenhada por arestas. Essa métrica visa quantificar, fundamentada em arestas, distâncias entre nós.

2.2.1.2.3 Medidas de comprimento

Barabási destaca a importância de distância em sistemas físicos:

A distância física desempenha um papel chave na determinação de interações entre os componentes de sistemas físicos. Por exemplo, a distância entre dois átomos em um cristal ou entre duas galáxias no universo determina as forças que agem entre eles. (BARABÁSI, 2014, p. 20, ch. 2).

Já em redes, distância importa na análise de fenômenos propagativos. A distância também fundamenta métricas que quantificam a importância de nós.

A distância, em redes, é determinada pelo comprimento de caminho. Caminho é uma rota que percorre arestas da rede. O comprimento do caminho é determinado pelo número de arestas percorridas (BARABÁSI, 2014).

Uma das medidas de comprimento é o de caminho mais curto (denotado por d), também chamado de caminho geodésico. Esse é o caminho com menor número de arestas entre dois nós (BARABÁSI, 2014). Por exemplo, na figura 11, o comprimento do caminho mais curto entre os nós “um” e “dois” é um; $d = 2$ para “um” e “cinco” e também para “um” e “três”; por fim, $d = 3$ para o par de nós “um” e “quatro” (que pode ser feito por duas rotas distintas).

Figura 11 – Exemplo de rede para medidas de distância

Fonte: Barabási (2014, p. 21, ch. 2).

Outra medida de caminho é o caminho médio, denotado por $\langle d \rangle$. Ele é a média dos caminhos mais curtos entre todos os pares de nós da rede. Logo, expressa a distância média entre todos os pares de nós da rede. Na figura 11, a distância média é dada por (BARABÁSI, 2014):

$$\langle d \rangle = \frac{\left(\begin{array}{c} d_{1 \rightarrow 2} + d_{1 \rightarrow 3} + d_{1 \rightarrow 4} + d_{1 \rightarrow 5} + \\ d_{2 \rightarrow 3} + d_{2 \rightarrow 4} + d_{2 \rightarrow 5} + \\ d_{3 \rightarrow 4} + d_{3 \rightarrow 5} + \\ d_{4 \rightarrow 5} \end{array} \right)}{10} = 1.6. \quad (2.6)$$

Por fim, a última medida de distância apresentada é o diâmetro, que é o maior d da rede. Ou seja, é o maior caminho mais curto existente entre um par de nós da rede. O diâmetro é denotado por d_{max} e, na figura 11, é igual a três (BARABÁSI, 2014).

Além dessas medidas, outras vinculam-se à identificação da importância de nós.

2.2.1.2.4 Medidas de centralidade

O conceito de centralidade aborda a questão: “quais são nós mais importantes da rede?”. Como existem diversas definições de “importância”, existem diversas medidas de centralidade no âmbito de redes (NEWMAN, 2010). Grau, centralidade de proximidade e centralidade de intermediação são medidas de centralidade utilizadas com grande frequência.

A centralidade de intermediação de um nó é a quantidade de caminhos mais curtos, entre todos os pares de nós da rede, que contém um determinado nó (FREEMAN, 1977; SCOTT, 2000). Todavia, não é frequente a consideração do valor absoluto da centralidade de intermediação, mas sim sua magnitude relativa. Esse valor relativo pode ser dado pela divisão da quantidade de caminhos mais curtos que contém o nó estudado pela quantidade total existente de caminhos mais curtos. Assim, a centralidade de intermediação, nessa última versão

apresentada, mensura a intensidade (fração) com que um nó intermedia caminhos mais curtos entre todos os pares de nós da rede (NEWMAN, 2010).

Essa medida é útil para identificar nós que detém poder sobre o fluxo em uma rede (NEWMAN, 2010). Por exemplo, em uma rede social, um nó que detém centralidade de intermediação relativamente alta apresenta probabilidade relativamente alta de captar informação que flui por tal rede.

Outra medida de centralidade é a de centralidade de proximidade, que mensura a distância média de um nó em relação a outros nós (NEWMAN, 2010). Mais especificamente, essa medida é determinada pelo inverso da média de caminhos mais curtos de um nó para todos os outros da rede (exceto ele mesmo). Matematicamente:

$$C'_i = \frac{1}{(n-1)} \sum_{j(\neq i)} \frac{1}{d_{i,j}}. \quad (2.7)$$

Os nós que possuem maior valor nessa medida podem ter maior acesso à informação ou maior influência direta em outros nós (NEWMAN, 2010).

Por fim, o próprio grau é uma medida de centralidade. Em alguns textos acadêmicos, grau é chamado de “grau de centralidade” para destacar esse papel. O grau, apesar de ser simples, pode gerar interpretações úteis sobre a importância do nó. Tomado novamente o exemplo de uma rede social, parece razoável supor que nós com maior grau detêm, em comparação com os de menor grau, maior influência, acesso à informação ou prestígio. Ainda, em uma rede de citação científica, na qual o grau de entrada de um nó (artigo científico) é determinado pelo número de citações que ele recebe, tal grau pode ser útil em definir a importância e o impacto desse artigo na ciência (NEWMAN, 2010).

Assim, finalizada a apresentação de métricas de redes, é exposta a maneira de representar redes. Tal maneira é a matriz de adjacência. Fundamentada nessa, é demonstrado o processo de construção e visualização de redes, com emprego, respectivamente, dos *softwares* Excel e Gephi.

2.2.1.3 Matriz de adjacência

Uma matriz de adjacência, A , caracteriza as conexões (ou a falta dessas) entre os nós de uma rede. Cada linha (i) de A , assim como cada coluna (j), representa as conexões de um nó; $i = j$ dizem respeito ao mesmo nó. A intersecção entre i e j determina a aresta entre os nós

representados por i e j . Assim, a matriz de adjacência de uma rede não dirigida é simétrica, ou seja, $A_{ij} = A_{ji}$ (BARABÁSI, 2014). Já a matriz de adjacência de uma rede dirigida não precisa ser simétrica. Isso pois, nessa matriz, j determina arestas que partem do nó referente a tal coluna; i , as que atingem o nó a que essa linha diz respeito e tais medidas podem ser distintas.

A figura 12 demonstra o exemplo de uma matriz de adjacência de uma rede não dirigida (esquerda) e uma de uma rede dirigida (direita). Para ambas as matrizes, $i = j = 1$ representam arestas do nó “um”; $i = j = 2$ representam arestas do nó “dois”, e assim sucessivamente. Na matriz à esquerda da figura 12, $A_{32} = 1$ indica que os nós “três” e “dois” estão conectados por uma aresta de peso 1. Na mesma matriz, $A_{14} = 0$ implica que os nós “um” e “quatro” estão desconexos. Na matriz à direita, $A_{23} = 1$ sinaliza que o nó “três” apresenta um arco de peso 1 direcionado para o nó “dois”. Na mesma matriz, $A_{32} = 0$ implica que o nó “dois” não apresenta um arco direcionado para o nó “três”. Por fim, para a matriz de adjacência referente à rede não dirigida, $A_{32} = A_{23}$; já a referente à rede dirigida, $A_{32} \neq A_{23}$.

Figura 12 – Exemplo de matriz de adjacência para uma rede não dirigida e uma dirigida

Fonte: Barabási (2014, p. 12, ch. 2).

Tomada a exata explicação demonstrada de matriz de adjacência sobre uma rede não dirigida, é possível visualizar e analisar redes (com emprego de diversas métricas de redes já apresentadas) no gratuito *software* Gephi. O mesmo pode ser feito para uma rede dirigida, todavia, para esse *software*, i determina arestas que partem de um nó e j , as que atingem um nó.

Nesses parâmetros, pode ser construída a matriz de adjacência no *software* Excel, com a primeira linha e coluna da matriz determinada pelo nome dos nós. Finalizada a criação da matriz, o arquivo de Excel pode ser salvo como “pasta de trabalho do excel”. Tal arquivo é legível para o *software* Gephi. Um exemplo de rede dirigida é demonstrado:

Quadro 2 – Matriz de adjacência de rede dirigida

	A	B	C	D	E
1		a	b	c	d
2	a		0	0	1
3	b		1	0	0
4	c		1	1	0
5	d		1	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 13 – Visualização da rede correspondente à matriz de adjacência do Quadro 2

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além de descrever redes estatisticamente, a ciência de redes busca construir modelos que reproduzem propriedades vislumbradas em rede reais (BARABÁSI, 2014). Ao fazer isso, dinâmicas dessas últimas também são captadas.

2.2.2 Modelos de formação de redes e suas características básicas

“Um modelo é uma representação matemática simplificada de um sistema”. No modelo, não devem ser incluídas todas as propriedades (mesmo que importantes) do sistema real que aquele representa, mas sim apenas as que se acredita que exercem função essencial na interpretação do fenômeno observado (BOCCARA, 2004, p. 4). Ainda, destaca-se que um modelo pode ser utilizado para iluminar dinâmicas essenciais do elemento estudado (EPSTEIN, 2008). Por fim, ao tratar especificamente de redes, Barabási (2014) afirma que, para entender a estrutura de uma rede, sua dinâmica deve ser compreendida.

Nessa perspectiva, a trajetória histórica dos principais modelos de redes é composta por simples modelos matemáticos que buscam a essência do fenômeno. Por meio da sucessão dessas tentativas, são esclarecidas dinâmicas essenciais de redes reais e, desse modo, é

aprofundado o conhecimento sobre a estrutura e, especialmente, sobre a formação dessas últimas.

2.2.2.1 Redes aleatórias

O primeiro modelo é formado pelos cientistas Edös e Rényi. Como o objetivo final de um cientista é identificar a explicação mais simples para um fenômeno complexo, em 1960, esses dois indivíduos buscaram tal intuito no estudo de redes. Dada a grande diferença de regras que distintos sistemas tomam para construir suas redes (como computadores conectados por cabos, moléculas ligadas por reações bioquímicas e empresas por trocas comerciais), aqueles dois autores propuseram a solução mais simples para determinar o mecanismo de construção de redes: conectar os nós de maneira aleatória. Esse modelo é chamado de *rede aleatória* (BARABÁSI, 2002; BARABÁSI, 2014).

Para criar uma rede aleatória, devemos iniciar com um conjunto de nós isolados. Posteriormente, selecionamos um par de nós e geramos um número aleatório entre 0 e 1. Se esse número superar certo p , os nós são conectados, caso contrário, são mantidos desconexos. Isso deve ser efetuado para todos os possíveis pares de nós da rede (BARABÁSI, 2014).

Uma comparação entre esse modelo e três redes reais foi feita por Watts e Strogatz (1998). A primeira das redes reais é a que estrutura o sistema nervoso do simples organismo multicelular *C. elegans*. Nessa rede, nós são neurônios e arestas são conexões entre eles (MITCHELL, 2009). A segunda é a rede elétrica do ocidente dos EUA. Nessa, os nós são geradores elétricos, transformadores e subestações de energia; as arestas são linhas de transmissão de alta voltagem entre tais nós. Por fim, a última rede é uma rede de atores, na qual os nós são atores e esses estão conectados se atuaram juntos em pelo menos um filme (WATTS; STROGATZ, 1998).

O caminho médio obtido para, respectivamente, a rede do sistema nervoso do *C. elegans*, a rede de eletricidade do ocidente dos EUA e a de atores foi de 3,65; 18,7 e 2,65. Para cada uma dessas redes, outra foi criada com emprego do modelo de redes aleatórias. Cada uma dessas últimas apresenta o mesmo N e $\langle k \rangle$ da rede a que se referem. Assim, o caminho médio, expresso na mesma ordem anteriormente apresentada, foi: 2,99; 12,4 e 2,25 (WATTS; STROGATZ, 1998). Dada a similaridade entre os valores de $\langle d \rangle$ entre redes reais e aleatórias, a validade de tal modelo é corroborada.

Todavia, redes aleatórias demonstram diversas incongruências com a realidade. Uma dessas (a única que não se relaciona diretamente com grupos em redes) é referente à distribuição

de grau dos nós, que se vincula à distribuição binomial. Esse vínculo é dado, inicialmente, pelo fato de a distribuição binomial, em geral, descrever o número de sucessos (x) em N experimentos independentes que podem possuir dois resultados, onde a probabilidade de cada um dos resultados é, respectivamente p e $1 - p$. Tomado que p_x é a probabilidade de se obter x sucessos, tal distribuição é (BARABÁSI, 2014):

$$p_x = \binom{N}{x} p^x (1-p)^{N-x}. \quad (2.8)$$

A adaptação dessa distribuição para redes finaliza a descrição do vínculo mencionado. Nessa adaptação, tem-se que P_k (em paralelo a p_x) é a probabilidade de encontrar um nó com grau k . Ainda, $\binom{N-1}{k}$ (relacionado a $\binom{N}{x}$) é o número de maneiras possíveis de selecionar k arestas do máximo de arestas que um nó pode ter⁷. Também, p é a probabilidade de nós estarem conectados; $1 - p$ a probabilidade de nós não estarem conectados. Por fim, $N - 1 - k$ (relativo a $N - x$) é o número total de arestas restantes, logo $(1 - p)^{N-1-k}$ é a probabilidade de esse número de arestas restantes estarem faltando. Assim, dado que conexões entre nós determinam o grau dos mesmos, tem-se que a distribuição de grau de redes aleatórias segue distribuição binominal, isso no formato de (BARABÁSI, 2014):

$$P_k = \binom{N-1}{k} p^k (1-p)^{N-1-k}, \quad (2.9)$$

Todavia, a maioria das redes reais são esparsas (isto é, $\langle k \rangle \ll N$ ou $L \ll L_{max}$) e, nesse cenário, a distribuição de grau (que segue formato binominal) de redes aleatórias é bem

⁷ É demonstrado exemplo de uma rede com $N = 3$, do número de maneiras de selecionar cada um dos possíveis números de arestas (0, 1 e 2) que um nó pode ter. Para que não seja selecionada nenhuma aresta em um nó, apenas uma configuração é possível (o nó não está conectado com nenhum dos outros dois), assim $\binom{2}{0} = 1$; para encontrar uma aresta, duas configurações são possíveis (pois são existentes dois nós além do analisado), logo $\binom{2}{1} = 2$; por fim, para serem encontradas duas arestas, apenas uma configuração é possível (o nó estar conectado aos outros dois), logo $\binom{2}{2} = 1$.

aproximada por distribuição de Poisson. A última depende apenas de $\langle k \rangle$, enquanto a distribuição binomial depende de p e N . Assim, por essa simplicidade, a distribuição de Poisson, apesar de não determinar com exatidão a distribuição de grau de redes aleatórias, tende a ser preferida para fazer cálculos e é normalmente chamada de distribuição de grau de redes aleatórias. A distribuição de Poisson empregada para redes é (BARABÁSI, 2014):

$$p_k = e^{-\langle k \rangle} \frac{\langle k \rangle^k}{k!} \quad (2.10)$$

Figura 14 – Demonstração gráfica de distribuição de Poisson e binomial

As redes expressas possuem $N = 10^2$; 10^3 ; 10^4 ; todas elas apresentam $\langle k \rangle = 50$
 Fonte: Barabási (2014, p. 10, ch. 3).

Essa distribuição, por exemplo em rede análoga à social global, com $N = 7$ bilhões e $\langle k \rangle = 1000$ (sociólogos indicam que uma pessoa típica conhece outras mil pelo nome), indica que k_{max} é 1185 e k_{min} 816. Isso provaria a inexistência de nós que possuem grau muito grande, que se destacam muito de outros nós, chamados de *hubs* (BARABÁSI, 2014). Todavia, na realidade, hubs não apenas são existentes em diversos sistemas complexos (BARABÁSI, 2002), como proporcionam características essenciais de grande parte de redes e sistemas reais (BARABÁSI, 2014).

O grau ainda descreve outra propriedade que permite testar a validade de redes aleatórias em descrever aspectos de redes reais. Essa propriedade trata dos efeitos gerados em redes aleatórias ao ser aumentado o seu grau médio⁸ da mesma.

⁸ Em redes aleatórias determinado por $\langle k \rangle = p(N - 1)$ (BARABÁSI, 2014).

Primeiro, para $\langle k \rangle < 1$, que determina o chamado regime subcrítico, a rede possui diversos grupos pequenos. Nesse regime, o tamanho do maior grupo (N_G) é muito menor do que a rede: $N_G \sim \ln N$. Assim, caso a rede seja muito grande (N tender a infinito), o tamanho do maior grupo em relação à rede toda será insignificante ($N_G/N \simeq \ln N/N \rightarrow 0$ no limite $N \rightarrow \infty$) (BARABÁSI, 2014).

Com a adição de mais arestas, ao ser atingido o ponto de $\langle k \rangle = 1$, é alcançado o chamado ponto crítico. Apesar de nesse ponto o tamanho relativo de N_G ainda ser zero, N_G demonstra grande alteração em relação ao regime subcrítico. No ponto crítico, $N_G \sim N^{2/3}$. Por exemplo, em uma rede de N de sete bilhões (análoga à rede social do mundo inteiro), no regime subcrítico $N_G \simeq 22,7$ e, no ponto crítico, $N_G \simeq 3 \times 10^6$ (BARABÁSI, 2014).

Em sequência, com a adição de arestas, com o alcance de $\langle k \rangle > 1$, é atingido o regime supercrítico. Nesse regime, para a vizinhança de $\langle k \rangle = 1$, $N_G/N \sim \langle k \rangle - 1$, e uma componente gigante (que é um grupo grande) emerge e coexiste com outros diversos grupos isolados (BARABÁSI, 2014). Essa mudança brusca no tamanho do grupo é chamada por matemáticos de emergência de componente gigante. Físicos descrevem o mesmo fenômeno como uma transição de fase, similar ao momento em que água congela. Por fim, sociólogos interpretariam o fenômeno como uma formação de comunidade (BARABÁSI, 2002).

Apenas no caso em que a adição de arestas seja suficiente para $\langle k \rangle = \ln N$, a componente gigante absorve todos os nós, isto é, N_G é aproximadamente N . Assim, a equação $\langle k \rangle = \ln N$ determina o último regime, chamado de regime conectado (BARABÁSI, 2014).

Redes elétricas e da internet estão no regime supercrítico e abaixo do regime conectado. Isso indica que é esperado que alguns consumidores não recebam energia elétrica e que alguns roteadores (da internet) estejam desconectados do componente principal. Ambas as expectativas são incongruentes com a realidade (BARABÁSI, 2014).

Além dessa, ainda outra incongruência, dessa vez relativa ao coeficiente de agrupamento, entre o modelo de rede aleatória e a realidade foi encontrada. Tal coeficiente em redes aleatórias é dado por $\langle k \rangle/N$, assim, é esperado que o agrupamento independa do grau do nó analisado e que decaia conforme a rede aumenta de tamanho (conforme N cresça). Ambas as expectativas demonstram-se falsas ao serem comparadas com a realidade (BARABÁSI, 2014).

Por fim, foi identificada outra discrepância entre o modelo de redes aleatórias e redes reais. Essa disparidade (oriunda do mesmo estudo que expressa a validade de tal modelo em descrever $\langle d \rangle$ de redes reais) foi captada por meio de comparação dos valores de $\langle C \rangle$

(coeficiente de agrupamento médio) demonstrados por simulações de redes reais (ao serem mantidos N e $\langle k \rangle$ das mesmas) com os valores de $\langle C \rangle$ das redes reais que tais simulações representavam. Nessas comparações, para a rede aleatória do sistema nervoso do *C. elegans*, foi obtido $\langle C \rangle = 0,05$; já a rede real demonstrou $\langle C \rangle = 0,28$. Sobre a rede elétrica do ocidente dos EUA simulada, $\langle C \rangle = 0,005$; a real demonstrou $\langle C \rangle = 0,08$. Por fim, na rede de atores, o $\langle C \rangle$ do modelo foi 0,00027; já o da rede real foi de 0,79 (aproximadamente 2926 vezes maior do que o $\langle C \rangle$ do modelo) (WATTS; STROGATZ, 1998).

2.2.2.2 Ascensão de redes de mundo pequeno

A simultânea validade de redes aleatórias em descrever $\langle d \rangle$ e invalidade em descrever $\langle C \rangle$ foi estudada. Tal invalidade fundamenta-se no baixo valor, na última métrica, que esse tipo de rede apresenta em relação a redes reais. Dado que redes regulares demonstram altos valores nessa métrica (em congruência com redes reais), foi efetuado um procedimento que combina ambos os tipos de redes (regulares e aleatórias) (WATTS; STROGATZ, 1998).

Tal combinação é iniciada por um anel regular de N nós. Cada um desses é conectado com seus k vizinhos mais próximos por meio de arestas não dirigidas. Posteriormente, são selecionados um nó e a aresta que o conecta ao seu vizinho mais próximo no sentido horário. Com a probabilidade p , tal aresta é reconectada (redirecionada) a um nó, dentre todos os possíveis, escolhido de maneira aleatória (dado que arestas duplicadas são proibidas); caso contrário, a aresta não é alterada de seu local original. Esse processo é repetido, em sentido horário, até que uma volta seja concluída (WATTS; STROGATZ, 1998).

Em sequência, são consideradas as arestas que conectam um nó ao seu segundo vizinho mais próximo no sentido horário. Novamente, as arestas são conectadas aleatoriamente com probabilidade p . Tal processo repete-se, considerando vizinhos mais distantes na medida em que voltas são dadas no anel regular, isso até que cada aresta original tenha sido considerada uma vez. Todo o procedimento é realizado sem alterar N e L da rede inicial. Exemplo gráfico de tal combinação é expresso na figura 15, onde $N = 20$, $k = 4$ e, quanto maior o p , mais aleatoriedade é acrescentada à rede (WATTS; STROGATZ, 1998).

Figura 15 – Combinação de rede aleatória com regular e seus resultados

Fonte: Adaptado de Watts e Strogatz (1998, p. 441).

Nesse procedimento, mesmo com emprego de baixos valores de p (que implica baixo número de recombinação de arestas na rede regular), $\langle d \rangle$ decai rapidamente, enquanto $\langle C \rangle$ requer maiores valores de p para alterar-se consideravelmente. Isso ocorre pois, nas recombinações de arestas, são efetuadas conexões de longo alcance. Essas conectam nós que, na rede regular, estariam distantes. Desse modo, para pequenos valores de p , cada uma dessas conexões de longo alcance encurta a distância não apenas entre o par de nós que conecta, mas também entre os vizinhos (imediatos ou não) de tais nós. Assim, esse tipo de conexão demonstra, para pequeno p , fortes efeitos não-lineares enquanto uma aresta removida de uma vizinhança (agrupada entre si) para a efetuação de conexões de longo alcance gera, no máximo, um efeito linear em $\langle C \rangle$ (WATTS; STROGATZ, 1998). A dinamicidade de $\langle C \rangle$ e $\langle d \rangle$ em relação a p é expressa na figura 16.

Fonte: Adaptada de Watts e Strogatz (1998, p. 441).

Assim, redes que combinam ordem (regularidade) com níveis de desordem (aleatoriedade) podem apresentar baixo $\langle d \rangle$ e alto $\langle C \rangle$. Essas redes foram nomeadas de *redes de mundo pequeno* (WATTS; STROGATZ, 1998).

2.2.2.3 Modelo BA

Apesar das diferenças entre redes de mundo pequeno e redes aleatórias, elas são compatíveis na visão de mundo em que se fundamentam. Isso pois, na concepção de ambas, arestas são posicionadas aleatoriamente (BARABÁSI, 2002). Tal semelhança manifesta-se na distribuição de grau das duas redes, que segue, aproximadamente, a distribuição de Poisson. Como já apresentado, essa distribuição ignora a existência de hubs. Esses, na maioria das redes, são uma propriedade fundamental (BARABÁSI, 2002).

Dada essa incongruência entre modelos e observações da realidade, Barabási e Albert desenvolveram um novo modelo (modelo BA). Nesse, os nós não são conectados de maneira aleatória, mas sim os mais conectados possuem maiores chances de receberem mais ligações (MITCHELL, 2009). Essa probabilidade é determinada por k_i/L (BARABÁSI, 2014). Tal princípio é nomeado de conexão preferencial⁹. Ele descreve, por exemplo, que uma página

⁹ Em rede reais, para identificar a probabilidade de um nó obter novas conexões, dado o seu grau, é utilizada a variação de grau do mesmo dividida pela variação de tempo. O melhor emprego dessa fórmula fundamenta-se em utilizar uma variação de tempo pequena, todavia não muito pequena para que a variação de k seja perceptível. Todavia, a curva obtida por tal fórmula pode conter ruídos. Para resolver esse problema, é mensurada a função de conexão preferencial cumulativa. Essa função é dada

popular, por ser mais fácil de ser encontrada, receberá mais conexões de outras páginas da internet, isso em relação a uma página desconhecida (MITCHELL, 2009).

Ainda, o modelo BA, diferente dos modelos anteriormente apresentados, assume que o número de nós da rede não é estático, mas sim que nós são adicionados com o tempo. A percepção de que a estrutura da rede e sua evolução (dada pelo aumento do número de nós) são inseparáveis é a mensagem mais importante desse modelo. Um exemplo de dinamicidade de N em um caso real é o surgimento de novas páginas na internet (BARABÁSI; ALBERT, 1999; BARABÁSI, 2014).

Embasado em conexões preferenciais e crescimento da rede, a figura 17 demonstra um exemplo de rede que segue o modelo BA. Em sua manifestação física, é visível padrão fractal. Isto é, ao ser focalizada uma parte, essa tende a se assemelhar ao todo.

Figura 17 – Rede formada pelo modelo BA

Fonte: Elaborada pelos autores.

A rede forjada pelo modelo demonstra distribuição de grau que segue lei de potência (em contraste com a distribuição de Poisson de ambos os modelos anteriores). Essa distribuição é representada por $p_k \sim k^{-\gamma}$,¹⁰ onde, para grande k , $\gamma = 3$. Como ela espera a existência de

por $\pi(k) = \sum_{k_i=0}^k \Pi(k_i)$, onde $\Pi(k_i)$ é a probabilidade da aresta de um novo nó conectar-se a um nó de grau i e $\pi(k)$ é a própria função de conexão preferencial cumulativa (BARABÁSI, 2014).

¹⁰A partir deste ponto, refere-se a γ da equação $p_k \sim k^{-\gamma}$ toda vez que mencionado expoente de distribuição de grau de rede que segue lei de potência ou de rede livre de escala.

hubs, engendra maior coerência entre modelo e realidade (BARABÁSI, 2014; BARABÁSI, 2002).

A distribuição de grau que segue Poisson e a que segue lei de potência são comparadas na figura 18. No caso selecionado, ambas as distribuições possuem $\langle k \rangle = 11$. A rede que segue lei de potência possui $\gamma = 2,1$. Na mesma figura, em *b*, as mesmas duas distribuições são demonstradas em um gráfico cujos eixos são expressos em log (BARABÁSI, 2014). Nesse segundo caso, a distribuição de lei de potência forma uma linha reta. Essa é uma característica essencial de lei de potência.

Figura 18 – Comparação entre a distribuição de Poisson e a distribuição de lei de potência

Fonte: Barabási (2014, p. 10, ch. 4).

A distribuição de grau que segue o modelo BA implica que a probabilidade de que um nó, ao ser coletado de maneira aleatória, possua grau k , decaia (de maneira não-linear) conforme k aumenta. Isso é manifesto em (a) e (b) da figura 18.

Redes de menor γ demonstram maior probabilidade de possuírem nós de alto k e, assim, tendem a demonstrar maior variabilidade em relação ao grau. Destarte, é dito que essas redes são mais heterogêneas (BARABÁSI, 2014).

Em coerência com a captação de variabilidade, a heterogeneidade é analisada conforme o segundo momento, $\langle k^2 \rangle$. Isso ocorre pois ele é utilizado para calcular a variância: $\sigma^2 = \langle k^2 \rangle - \langle k \rangle^2$, dado que a raiz da variância é o desvio padrão (BARABÁSI, 2014), que serve como uma medida básica de variabilidade, isto é, mensura a quantidade de variação de um conjunto de dados; o quanto esses dados estão espalhados ao entorno da média dos mesmos (JOHNSON; BHATTACHARYYA, 2010). Logo, é dito que uma rede é heterogênea caso $\langle k^2 \rangle$ seja maior do que a expectativa de uma rede aleatória $\langle k \rangle \cdot (\langle k \rangle + 1)$. (BARABÁSI, 2014).

Como para redes que seguem lei de potência com expoente inferior a 3, o desvio padrão da distribuição é muito grande, assim, esse tipo de rede não possui uma escala interna significativa. Isso contrasta com redes que seguem distribuição de Poisson, nas quais os graus demonstram valores razoavelmente próximos e, assim, comparáveis. Mais especificamente, nesse último tipo de rede, o grau médio serve como uma “escala” interna. Por tal contraste e ausência de escala interna em redes que seguem lei de potência com $\gamma < 3$, elas são chamadas de “rede de livre de escala” (BARABÁSI, 2014). De maneira menos rigorosa, a nomenclatura “rede livre de escala” tende a ser utilizada para qualquer rede que demonstre distribuição de grau que segue lei de potência, independente do expoente (MITCHELL, 2009).

Redes livres de escala apresentam quatro propriedades: um número relativamente pequeno de hubs, heterogeneidade de distribuição de grau, autossimilaridade (manifesta na estrutura física da mesma) e estrutura de mundo pequeno (MITCHELL, 2009). Como todos os sistemas reais que são livres de escala apresentam conexão preferencial, o modelo BA aparenta captar a origem de redes livres de escala (BARABÁSI, 2014).

Por fim, é apresentado o coeficiente de agrupamento médio e o caminho médio desse tipo de modelo. O coeficiente de agrupamento médio em redes do modelo BA é

$$\langle C \rangle \sim \frac{(\ln N)^2}{N}. \quad (2.11)$$

Fundamentado nessa equação, a rede do modelo BA é localmente mais agrupada do que redes aleatórias, fato que demonstra maior alinhamento daquele modelo com a realidade. Por fim, a distância média é

$$\langle d \rangle \sim \frac{\ln N}{\ln \ln N}, \quad (2.12)$$

que é menor em comparação com distâncias esperadas em redes aleatórias de mesmo tamanho (especialmente para redes de grande N) (BARABÁSI, 2014).

2.2.2.3.1 Falhas do modelo BA e possíveis soluções para aquelas

Apesar dos diversos pontos positivos em descrever a realidade que o modelo BA demonstra, em sistemas reais são observados desvios de distribuição de grau que segue lei de potência, diferente do que conclui o modelo discutido. Além dessa limitação, o mesmo modelo indica que a lei de potência demonstra expoente com valor 3, que não demonstra perfeita

congruência com a maioria das redes reais livres de escala, que possuem esses expoentes entre 2 e 5. Ainda, o modelo ignora processos presentes em muitas redes reais, como a adição de arestas internas (conexões entre nós preexistentes). Por fim, no modelo BA, um nó que não possui conexões não possui chances de obtê-las no futuro (por apresentar $k = 0$) (BARABÁSI, 2014). Tais incongruências entre o modelo BA e a realidade são discutidas com o intuito de resolvê-las.

Como um artigo científico possui chance finita de receber sua primeira citação e pessoas, ao mudarem de cidades, rapidamente fazem novos amigos, a chance de conexão de um nó (não conectado) obter aresta não deve ser inexistente. Logo, para corrigir tal falha no modelo BA, a ele é adicionada uma constante chamada de atração inicial (representada por A). Ela é proporcional à probabilidade de um nó obter sua primeira ligação no período subsequente. A atração inicial faz-se presente em redes reais (BARABÁSI, 2014).

Essa presença traz duas novas características para a rede. Primeiro, adiciona um componente aleatório à probabilidade de um nó obter arestas. Isso dilui o poder da conexão preferencial e, assim, favorece os muitos nós de baixo grau e desfavorece os hubs. Logo, a atração inicial torna a rede mais homogênea. Isso é mostrado pelo fato de que a atração inicial aumenta o expoente que descreve a distribuição de grau dos nós da mesma (BARABÁSI, 2014).

A segunda característica adicionada pela atração inicial é que essa faz com que a distribuição de grau de uma rede não seja mais governada por uma lei de potência pura¹¹. Tal fato aumenta a congruência do modelo com a realidade (BARABÁSI, 2014).

Já sobre arestas internas é considerada, no modelo BA, a adição de um novo nó com m arestas, seguido por n elos internos. O expoente que descreve a distribuição de grau de tal rede está entre 2 e 3. Como muitas redes reais livres de escala demonstram expoente nesse mesmo intervalo (BARABÁSI, 2014), o modelo BA com adição de arestas internas demonstra maior alinhamento com a realidade do que o mesmo modelo sem emprego de tal procedimento.

¹¹A probabilidade de um nó conseguir conexão embasado em seu próprio grau é congruente ao seu grau elevado a alfa. Em redes reais, existem casos que o alfa é menor do que um. Esse aspecto sublinear limita o tamanho e a quantidade de hubs, uma vez que enfraquece o mecanismo de favorecer os mais conectados. Ainda, faz com que seja mais útil aproximar a distribuição de grau dessa rede para uma distribuição exponencial esticada. Já para a conexão preferencial superlinear (em que o alfa é superior a um), os hubs aumentam de tamanho quando comparados com uma dependência linear. Esse segundo caso tem sua distribuição de grau mais bem aproximada para uma distribuição de “ganhadores levam tudo”, isto é, um hub domina a grande maioria das conexões da rede. Assim, como demonstrado para ambos os casos, a não-linearidade discutida (da dependência da probabilidade de um nó adquirir conexão embasado em seu próprio grau) é um motivo para a distribuição de grau de redes reais não ser uma pura lei de potência (BARABÁSI, 2014).

Todavia, o modelo BA ainda apresenta uma importante incongruência com a realidade: o modelo não diferencia os nós, isto é, não atribui características específicas para cada um. Logo, o k do nó i é determinado apenas pelo tempo de existência de i . Desse modo, o modelo BA exclui a aparição de novos nós que obtêm grande sucesso (atraem muitas arestas), o que nega a realidade concretizada pelo Google no mercado (novo competidor, em relação às outras empresas, que alcançou sucesso), por exemplo. Assim, para resolver tal incongruência entre modelo e realidade, um novo modelo de redes emerge (BARABÁSI, 2014; BARABÁSI, 2002).

2.2.2.4 Modelo BB

O modelo Bianconi-Barabási (BB) considera que os nós diferem em aptidão que, nesse contexto, é entendida como uma propriedade intrínseca ao nó que o impulsiona à frente dos outros. Isso é combinado, em tal modelo, com conexão preferencial e crescimento, ambos oriundos do modelo BA. Sobre crescimento, a cada rodada é adicionado um novo nó j , com m arestas e aptidão de η_j . A aptidão é um número selecionado aleatoriamente de uma distribuição de aptidão $p(\eta)$; uma vez designada, a aptidão de um nó não muda. Considerando isso, o modelo BB determina que a probabilidade de um nó i receber uma aresta de um novo nó j é:

$$\Pi_i = \frac{\eta_i k_i}{\sum_j \eta_j k_j}, \quad (2.13)$$

onde η_i é a aptidão do nó i (BARABÁSI, 2014; BARABÁSI, 2002).

Caso seja tomada aptidão igual para todos os nós, o modelo BB é reduzido ao modelo BA. Assim, o expoente que determina a distribuição de grau do primeiro modelo é igual a três. Todavia, quando a aptidão é uniformemente distribuída no intervalo $[0,1]$, o expoente muda. Esse passa a ser 2,255 e, ainda, não é esperada uma distribuição que segue lei de potência perfeita (BARABÁSI, 2014).

2.2.2.4.1 Condensação Bose-Einstein

Ainda, a forma da distribuição da aptidão determina a existência ou não de uma condensação Bose-Einstein em redes. A condensação Bose-Einstein é um fenômeno físico que ocorre em um gás Bose e é induzido por esse gás apresentar temperatura abaixo de certa temperatura crítica. A condensação Bose-Einstein descreve que todas as partículas ocupam o

nível de energia mais baixo, o que faz com que o resto dos níveis de energia fiquem não populados (BARABÁSI, 2014).

Dada essa definição, é feito paralelo de redes (tomado o modelo BB) como um gás Bose. O papel da energia, em redes, é determinado pela aptidão de cada nó (assim, é designada uma energia ε_i para cada nó com aptidão η_i). Já o *nível* de energia corresponde aos nós. Por fim, as partículas são, em redes, as arestas (BARABÁSI, 2014; BARABÁSI, 2002).

Fundamentado nesses paralelos, tem-se que, quanto maior η_i , menor ε_i . Também, para cada aresta que parte do nó i para o j , é adicionada uma partícula no nível de energia ε_j . Assim, a chegada de um novo nó com m arestas corresponde à adição de um novo nível de energia ε_j e a adição de m novas partículas ao gás Bose (situadas nos níveis de energia dos nós que recebem as conexão do novo nó) (BARABÁSI, 2014).

O mapeamento desse cenário descrito, de acordo com a distribuição de aptidão, prevê duas fases distintas para as redes. Na maioria das possíveis distribuições de aptidão, obtém-se a primeira fase, que descreve rede livre de escala. Já a segunda fase aponta para a possibilidade de ocorrer uma condensação Bose-Einstein para redes, isso em certas distribuições de aptidão. Isto é, há uma gigantesca concentração de arestas (partículas) ao nó de maior aptidão (ao nível de energia mais baixo). Desse modo, a rede perde seu aspecto livre de escala e torna-se uma rede em formato de estrela, na qual o nó que possui maior aptidão torna-se um superhub (BIANCONI; BARABÁSI, 2001).

2.2.2.4.2 Aquisição de arestas no modelo BB

No modelo BB, a taxa de aquisição de arestas que nós demonstram ocorre seguindo lei de potência, assim como no modelo BA. Entretanto, em contraste com o modelo BA, o expoente que indica a velocidade com que um nó obtém novas arestas difere para cada nó. Essa velocidade é determinada pela aptidão do nó. A aptidão, além da definição já fornecida, por ser vista como um reflexo da percepção coletiva sobre a importância de determinado nó para os componentes da rede. Logo, ao comparar a evolução de determinado nó com outros de sua rede, é possível determinar sua aptidão (BARABÁSI, 2014; BARABÁSI, 2002).

Desse modo, foram obtidas distribuições de aptidão de redes reais. Tais distribuições são tipicamente limitadas exponencialmente, isto é, que apresentam variações de alcance estreito. Todavia, existem grandes diferenças de grau vistas nessas redes. Assim, há uma discrepância entre aptidão e sucesso (grau) obtido por nós. Tal discrepância é oriunda da

dinâmica da rede: conexão preferencial e crescimento amplificam as pequenas diferenças de aptidão nos resultados obtidos em k (BARABÁSI, 2014).

Nesse ponto, a ênfase em análise de modelos de redes é transmutada em ênfase do estudo de propriedades de redes. Esse novo foco não olvida os modelos, mas sim fundamenta-se, em partes, neles.

2.2.3 *Propriedades de redes*

Como Barabási (2002) destaca, somado ao já apresentado, redes possuem características próprias. Tais propriedades são estudadas sobre os principais modelos de redes; os que mais se assemelham com redes reais e sobre redes que representam sistemas reais.

2.2.3.1 Robustez

Sistemas podem ser analisados pelas redes que os constituem sob a ótica de determinada dimensão. Os nós dessas redes podem ser deletados, o que impacta a estrutura do sistema. Um exemplo daquela representação de sistemas em redes e da eliminação de nós é a representação de uma grande organização como uma rede de funcionários e alguns desses faltarem em um dia de trabalho. Apesar dessa perda de componentes, sistemas naturais ou sociais (como a organização exemplificada), frequentemente continuam a executar suas atividades básicas. Nesse cenário, tal continuidade é a definição de robustez (BARABÁSI, 2002; BARABÁSI, 2014).

Além de sistemas poderem ser visualizados por redes, muitos daqueles que demonstram robustez em relação às falhas (exclusão de nós) tem tal robustez intrinsecamente atrelada às redes que descrevem esses sistemas (BARABÁSI, 2002; BARABÁSI, 2014). Assim, a robustez de sistemas é analisada de acordo com a rede que os representa.

Como mencionado, a robustez é determinada pelo comportamento do sistema de acordo com a remoção de seus componentes. Tal remoção, com ênfase para a estrutura estática e local da rede, pode ser dividida em falhas e ataques. Também vinculado à robustez (mas sem tratar dessa última exclusivamente), destacam-se as falhas em cascata (BARABÁSI, 2014).

2.2.3.1.1 Falhas

Falhas são definidas por atingirem nós, independente do grau desses, com a mesma probabilidade. Assim, quanto maior a proporção de nós de determinado grau, maior a probabilidade de esse tipo de nó (dado o grau do mesmo) sofrer falha (BARABÁSI, 2002; BARABÁSI, 2014).

Como os nós de baixo grau, em redes livres de escala (que captam distribuição de grau semelhante a muitos sistemas reais), são maioria, esse tipo de nó é o mais afetado por falhas nessas redes. Tais nós, por serem pouco conectados, pouco contribuem para a integridade da rede. Já hubs, que tendem a contribuir de maneira significativa para a integridade da rede, por serem muito poucos, apresentam baixa probabilidade de serem atingidos por falha. Ainda, mesmo que um hub seja afetado por falha, a remoção de um único nó desse tipo não surte grandes efeitos na rede. Desse modo, redes livres de escala demonstram robustez topológica em relação às falhas. Exemplo dessa robustez é o fato de que, para que a componente gigante da rede da internet se fragmente, quase todos os nós desse sistema devem ser removidos (BARABÁSI, 2002; BARABÁSI, 2014).

A robustez também é analisada matematicamente. Sob essa ótica, a robustez tende a ser mensurada de acordo com a proporção de nós que devem ser removidos para que uma rede perca sua componente gigante (proporção essa representada por f_c). Para redes livres de escala, essa proporção é dada por

$$f_c = 1 - \frac{1}{\frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle} - 1}, \quad (2.14)$$

Como sistemas que possuem $\langle k^2 \rangle$ grande se comportam como redes livres de escala, na equação 2.14, caso $\langle k^2 \rangle$ seja muito maior do que $\langle k \rangle$ ¹² (BARABÁSI, 2014), f_c se aproxima de 1. Assim, não é necessário que uma rede siga estritamente lei de potência para ser resistente a falhas. O que de fato é necessário para uma rede demonstrar robustez maior do que uma rede aleatória é a primeira demonstrar alto valor de $\langle k^2 \rangle$. Por fim, quanto maior N , f_c tende a aproximar-se de 1 (BARABÁSI, 2014).

2.2.3.1.2 Ataques

¹²No caso contrário, em que uma rede possua $\langle k^2 \rangle$ pequeno, comparável com $\langle k \rangle$. ($\langle k \rangle + 1$), o sistema é bem aproximado por uma rede aleatória (BARABÁSI, 2014).

Já ataques, diferentes de falhas, não são aleatórios, mas sim visam destruir o maior hub da rede, e, em seguida, o maior hub restante, assim sucessivamente. Retomado o caso da Internet, que demonstra grande robustez perante falhas, aquele é caracterizado por vulnerabilidade em relação a ataques. Ecossistemas se comportam de maneira similar: sob falhas, demonstram grande robustez, todavia, caso atacadas as espécies mais conectadas, o ecossistema colapsa (BARABÁSI, 2002).

Logo, redes livres de escala, assim como grande parte das redes que representam sistemas reais, são caracterizadas por serem resilientes (ou seja, suas propriedades básicas não mudam: seguem apresentando distribuição de grau heterogênea, caminho médio curto e alto coeficiente de agrupamento médio) a falhas, mas vulneráveis a ataques (MITCHELL, 2009). Isso é demonstrado na figura 19.

Figura 19 – f_c para redes de sistemas reais

REDE	FALHA (Redes Reais)	ATAQUE (Redes Reais)
Internet	0.92	0.16
WWW	0.88	0.12
Malha energética	0.61	0.20
Chamadas de Celular	0.78	0.20
E-Mail	0.92	0.04
Colaboração Científica	0.92	0.27

Fonte: Adaptado de Barabási (2014, p. 14, ch. 8).

Matematicamente, f_c de ataques para redes livres de escala é a solução de:

$$f_c^{\frac{2-\gamma}{1-\gamma}} = 2 + \frac{2-\gamma}{3-\gamma} k_{min} \left(f_c^{\frac{3-\gamma}{1-\gamma}} - 1 \right), \quad (2.15)$$

assim, f_c aumenta conforme γ decai (BARABÁSI, 2014). Logo, a heterogeneidade demonstra-se uma propriedade benéfica para a robustez de uma rede, isso perante falhas e ataques.

2.2.3.1.3 Falha em cascata

Além da análise de estrutura de redes, dinâmicas das mesmas relacionam-se com robustez (MITCHELL, 2009). Ainda, diferente das análises até o momento apresentadas sobre robustez, relações locais (especialmente sobre nós e seus vizinhos) são consideradas para análise de robustez da rede (BARABÁSI, 2014).

Combinando essas duas características, Barabási (2014) aponta que a atividade de cada nó depende da atividade de seus vizinhos. Isso é expresso em casos em que a rede funciona como um sistema de transporte, em que a falha de um nó acarreta em transmissão de carga (do que a rede transporta) para outros nós. Se tal carga for superior ao que os nós que a receberam conseguem absorver, eles vão redistribuir a carga extra para outros nós vizinhos (BARABÁSI, 2002), o que pode fazer com que os últimos também falhem e redistribuam sua carga para outros, assim sucessivamente. Esse efeito em dominó é chamado de falha em cascata (MITCHELL, 2009).

Exemplo desse fenômeno foi o blecaute de 1996 ocorrido nos EUA. Nesse, uma linha falhou e, como a eletricidade não pode ser armazenada, a carga elétrica de tal linha foi transferida para outras. As últimas não suportaram a carga extra e também falharam e transpassaram suas cargas para vizinhos. O resultado desse processo foi um blackout em onze estados dos EUA e duas províncias canadenses (KOSTEREV; TAYLOR; MITTLESTADT, 1999).

Além de blecautes, terremotos e propagação de informação podem ser visualizados como falhas em cascata. Todavia, nesse contexto, não mais a falha deve ser prejudicial, mas sim descreve a propagação de algo em uma rede. A distribuição do tamanho dessas cascatas segue lei de potência, que implica que a maioria das cascatas são pequenas enquanto algumas são gigantes (BARABÁSI, 2014).

Dois modelos (modelo de propagação de falha e modelo de ramificação) explicam essa característica em comum de terremotos, blecautes e propagação de informação. Aqueles modelos possuem em comum a caracterização da rede por algum fluxo. Esses modelos também descrevem que cada elemento da rede possui uma regra local que determina quando um componente contribui para a cascata. Ainda, ambos os modelos demonstram mecanismo para redistribuir o fluxo do nó (que contribui para a cascata) para outros componentes. Por fim, os modelos indicam que, em determinado $\langle k \rangle$ crítico ($\langle k \rangle_c$), o tamanho das avalanches segue lei de potência (BARABÁSI, 2014).

O aumento de robustez de uma rede pode ser útil, expresso por melhor funcionalidade do sistema e menores custos em reparação. Existem modos de incrementar a robustez de uma rede.

2.2.3.1.4 Aumento de robustez

O aumento de robustez pode dar-se por procedimento que reduz efeitos de falhas em cascatas e, assim, focaliza-se na dinamicidade da rede. Fenômenos em cascata, iniciados por ataques ou falhas, são divididos em duas partes. A primeira é o ataque inicial, no qual é removida uma fração de nós. A segunda é a propagação da cascata, gerada pela primeira parte. Essa segunda parte também apresenta como produto a remoção de uma fração de nós. Tais partes são separadas temporalmente (MOTTER, 2004).

Também é considerado que a adição de nós e arestas na rede gera custos (MOTTER, 2004). Barabási (2014) corrobora isso e especifica que o custo para construir e manter uma rede pode ser vislumbrado como proporcional a $\langle k \rangle$. Assim, para manter a plausibilidade e economicidade daquele procedimento, serão analisadas as opções apenas de remoção de nós e arestas (e não adição), que podem ser feitas entre a primeira e segunda parte (depois da primeira e antes da segunda) (MOTTER, 2004).

Ainda, é assumido que arestas (e nós) apresentam carga, que é o total de pacotes (que representa qualquer elemento transmitido) passando por aquelas(es) em uma unidade de tempo. É considerado também que nós apresentam capacidade. A última é a carga que ele suporta e é dada pela multiplicação da carga inicial de um nó por um parâmetro de tolerância. Fundamentado nisso, afirma-se que nós podem gerar pacotes. O número de pacotes gerados por um nó é determinado por (MOTTER, 2004):

$$L_i^g = (\bar{D}_i + 1)(N - 1), \quad (2.16)$$

onde $\bar{D}_i$ é o caminho mais curto médio do nó i para todos os outros.

Ou seja, a quantidade gerada, apesar do nome, não mensura a produção de elementos de um nó, mas sim o fluxo de cargas que esse nó faz transitar na rede. Nós de distância mais curta média alta tendem a produzir grande carga, diferente de nós que possuem distância mais curta média baixa.

Em congruência, nós que possuem alta carga tendem a produzir pouca carga, assim, esses contribuem menos para gerar do que para lidar com carga. Assim, a remoção desse tipo de nó pode causar sobrecarga em outros nós. Ao contrário, nós que demonstram mais produção do que carga geram mais carga do que ele próprio lida. Fundamentado nisso, a remoção de nós

que apresentam menores valores na subtração entre carga do nó e carga produzida pelo mesmo (o valor resultante é chamado de Δ_i) pode reduzir a cascata. Ou seja, é visada a remoção dos nós que apresentam máxima carga de produção própria e mínima carga (dada a definição da última) (MOTTER, 2004).

Prosseguindo o raciocínio, Motter (2004) afirma que a remoção de nós menos centrais (como os que apresentam menor Δ_i) pode drasticamente reduzir o tamanho das cascatas. Centralidade pode ser mensurada por grau, carga, Δ_i e por centralidade de proximidade. Logo, em relação a essas quatro medidas, nós com os menores valores devem ser removidos para mitigar o efeito da cascata (MOTTER, 2004).

Isso é testado empiricamente por meio de um modelo de rede. O último representa uma rede livre de escala com expoente de valor três, $N = 5000$, $k_0 = 2$ e sofre ataques em 0,1% dos nós de maior carga. Nessa rede, a remoção de aproximadamente 1/3 dos nós de menor centralidade (dadas as medidas relacionadas com essa percepção) gera os menores danos para a rede (considerando, além do efeito cascata, os danos também da remoção intencional de nós). Dado esse cenário, restam para a rede quase 60% dos nós existentes anteriormente ao início da falha em cascata e remoção intencional de nós. Sem a remoção intencional de nós, sobrariam menos de 10% dos nós (MOTTER, 2004).

Aprofundando, para que um nó i apresente sobrecarga, ao menos uma aresta a ele conectada deve apresentar carga superior à sua própria carga inicial multiplicada pelo parâmetro de tolerância (do nó). Essa aresta apresenta grande excesso de carga e, assim, sua remoção intencional pode mitigar consequências de falhas em cascata. Logo, conclui-se que a remoção de nós transpassados por baixa intensidade de fluxo (em relação aos outros nós) pode reduzir significativamente os danos e tamanhos de cascatas e, em contraste, os mesmos resultados podem ser obtidos pela remoção de arestas condutoras de grande intensidade de fluxo (perante seu próprio fluxo inicial) (MOTTER, 2004).

Ainda, como a robustez de rede pode ser interpretada em perspectiva que destaca a topologia (e não tanto sua dinamicidade), a mesma dimensão pode ser tomada para incrementar a robustez. Isto é, visa-se reduzir efeitos oriundos da fragilidade inerente à topologia de redes ao serem considerados ataques e falhas.

Nessa perspectiva, a robustez de uma rede é maximizada quando o resultado da soma de f_c para ataques e f_c para falhas é maximizado. Isso é alcançado no cenário em que a rede é composta por um único grande hub, que possui k_{max} e todos os outros nós demonstram k_{min} . Nesse caso, a componente gigante é mantida pelo hub e, caso $k_{min} > 1$, todos os outros nós formam uma componente gigante por conta própria, como demonstrado pela transição de fase

que redes aleatórias apresentam (BARABÁSI, 2014). Desse modo, caso seja possível o manejo da construção da topologia de rede de determinado sistema, caso essa rede seja desenhada com um grande hub (com k_{max}) e todos os outros nós com baixo grau (k_{min}), a robustez desse sistema é maximizada.

Além de robustez, redes demonstram a propriedade de serem subdividas em comunidades. Isto é, existem grupos em redes, como grupos de amigos dentro da sociedade. A existência de comunidades em redes afeta diversas características dessas últimas.

2.2.3.2 Comunidades em redes e suas características gerais

Uma comunidade, na ciência de redes, é um conjunto de nós que possuem maior probabilidade de conectarem-se entre si do que com nós de outras comunidades (BARABÁSI, 2014). Elas podem ser analisadas sob diversos ângulos distintos.

Por exemplo, sobre a distribuição de comunidades, dado o tamanho dessas últimas, estudos de Radicchi et al. (2004), Newman (2004) e Palla et al. (2005) indicam que aquela apresenta formato de cauda gorda¹³. Logo, muitas comunidades de tamanho pequeno coexistem com poucas muito grandes (BARABÁSI, 2014).

Já em relação ao tipo de sistema que a rede representa, comunidades demonstram especificidades sobre o peso de arestas. Em redes sociais, quanto maior o tempo que duas pessoas passam juntas, maior a probabilidade de elas terem amigos em comum. Desse modo, a chance de aquelas pessoas estarem na mesma comunidade é alta. Assim, comunidades em redes sociais tendem a ser dispostas ao redor de arestas de grande peso (BARABÁSI, 2014).

Entretanto, para redes que representam sistemas que transportam materiais ou informações, outro padrão é percebido. Nesse caso, o peso da aresta tende a se correlacionar com a centralidade de intermediação (GOH; KAHNG; KIM, 2001; MARITAN et al., 1996). Destarte, em contraste com as redes sociais, como elos entre distintas comunidades em sistemas que efetuam transportes devem translocar considerável quantidade de carga, elos fortes são esperados entre elementos de distintas comunidades e, fracos, entre elementos de uma mesma comunidade (BARABÁSI, 2014).

Além de especificidades referentes ao peso de arestas, comunidades (presentes em redes sociais e redes de comunicação) demonstram idiosincrasias na sua mutabilidade com o transcorrer do tempo. Por exemplo, a quantidade de arestas entre o nó e sua comunidade e o

¹³ Traduzido de “*fat tailed*”.

mesmo nó e outras comunidades tende a definir a futura comunidade de tal nó. Isso pois a probabilidade de um nó entrar para uma comunidade cresce em relação à quantidade de arestas que esse possui em relação a outros nós de outra comunidade. Em congruência, nós com baixo número de arestas com outros de sua comunidade tendem a deixá-la (BACKSTROM et al., 2006).

Ao combinar essa mutabilidade temporal com o peso de arestas, é tido que o aumento da somatória de tal peso, no caso de representarem elos que partem de um nó para outros de outra comunidade (diferente da comunidade do nó discutido), faz com que aumente a probabilidade de esse nó deixar a comunidade de que faz parte. Agora com o olhar para o peso do agregado de arestas (e não apenas de um nó) para fora de uma comunidade, caso aumente tal resultado, aumenta a probabilidade de a primeira comunidade se desintegrar (BARABÁSI, 2014). Ou seja, quando visualizado apenas um nó, caso sua conexão (em número de arestas e peso dessas) com outras comunidades (que não a sua) aumente, aumenta a probabilidade de ele deixar seu grupo, todavia, quando tal conectividade (referente ao peso de arestas) externa é incrementada perante toda a comunidade, essa última tende a se desintegrar.

Por fim, o comportamento de comunidades também varia de acordo com o seu tamanho. As grandes (que tendem a ser mais velhas) demonstram maior mutabilidade de seus componentes em relação às pequenas (que tendem a ser mais novas). Em casos empíricos, as grandes podem ser vistas como escolas e empresas (PALLA; BARABÁSI; VICSEK, 2007) e as pequenas, grupos de amizades.

Comunidades podem ser identificadas por meio de distintos procedimentos. Isso fundamentado em aspectos de redes.

2.2.3.2.1 Agrupamento hierárquico

Para identificar a estrutura de comunidades inerentes a uma rede, é utilizada detecção de comunidades. Em tal detecção, o tamanho e quantidade das comunidades não são predeterminados pelo pesquisador (BARABÁSI, 2014) pois se visa que seja identificada a estrutura verdadeira de comunidades da rede, que pode ser desconhecida pelo cientista. Ou seja, é dada liberdade ao método para que ele capte, sem predeterminação, comunidades na rede.

Contando com essa liberdade, demonstra utilidade o método de detecção de comunidades chamado agrupamento hierárquico. Esse método utiliza uma matriz de similaridade, a qual indica a distância entre cada nó da rede. Embasado nessa matriz, a execução do método resulta em uma árvore hierárquica (chamada de dendograma) que demonstra, de

maneira hierárquica, possíveis divisões de grupos. Cada corte (feito com a passagem de uma linha paralela ao eixo x) no dendograma representa um agrupamento válido, como demonstrado na figura 20 (BARABÁSI, 2014).

Figura 20 – Possíveis resultados de um agrupamento hierárquico utilizado em redes

Fonte: Barabási (2014, p. 17, ch. 9).

Como demonstrado pelo dendograma, o agrupamento hierárquico assume (e gera como resultado) que módulos pequenos estão aninhados em outros maiores (BARABÁSI, 2014). Para captar a essência desse fenômeno, é analisado o modelo de rede hierárquica.

Esse último cria uma rede com grande quantidade de pequenas comunidades que formam outras maiores. Além disso, essas formam outras ainda maiores, assim sucessivamente (RAVASZ; BARABÁSI, 2003). A assinatura quantitativa (que pode ser utilizada para a identificação) da modularidade hierárquica aninhada presente no modelo (ou seja, de comunidades estarem inseridas dentro de outras) é a existência de dependência do coeficiente de agrupamento de um nó ao grau do mesmo. Tal relação é descrita por: $C(k) \sim k^{-1}$. Ou seja, quanto maior o grau de um nó, menor seu coeficiente de agrupamento (RAVASZ et al., 2002; RAVASZ; BARABÁSI, 2003; DOROGOVTSSEV; GOLTSEV; MENDES, 2002). Isso acontece pois nós pertencentes a distintas comunidades tendem a demonstrar baixa densidade de arestas entre si e hubs, pela grande k que possuem, podem possuir conexões com tais nós.

Essa função do coeficiente de agrupamento em relação ao grau é demonstrada na análise de 10 redes reais¹⁴. Dessas, 9 (com exceção de rede elétrica) demonstram a dependência expressa na função. Nos modelos BA e Edös –Rényi não é identificada essa dependência (BARABÁSI, 2014), logo, tais modelos não captam esse aspecto presente em diversas redes reais.

Ainda existem outros métodos de identificação de comunidades. Tais métodos cooperam para a melhoria do próprio método de agrupamento hierárquico (BARABÁSI, 2014).

2.2.3.2.2 Modularidade

Um desses métodos, a modularidade, fundamenta-se na análise da diferença entre a rede estudada (qualquer que seja) e uma aleatória. Isso é feito pela partição (fragmentação) dessa rede em n_c comunidades. Cada comunidade apresenta N_c conectados por L_c arestas. Caso, para uma comunidade, L_c for maior do que o esperado entre N_c pela sequência de grau da rede, tal comunidade pode ser uma verdadeira comunidade. Matematicamente, a modularidade é determinada por (BARABÁSI, 2014):

$$M_c = \frac{L_c}{L} - \left(\frac{k_c}{2L} \right)^2, \quad (2.17)$$

onde L_c é o número total de arestas dentro da comunidade C e k_c é o grau total dos nós dentro dessa comunidade (BARABÁSI, 2014).

Para generalizar essa ideia para uma rede toda, considera-se a partição completa da rede em n_c comunidades. Para averiguar se a densidade de arestas locais dos subgrafos obtidos pela partição diferem da densidade esperada de uma rede aleatória, a modularidade da partição (M) é dada pela soma de M_c para todas as n_c comunidades:

$$M = \sum_{c=1}^{n_c} \left[\frac{L_c}{L} - \left(\frac{k_c}{2L} \right)^2 \right]. \quad (2.18)$$

Quanto maior for o M de uma partição, melhor é a correspondente estrutura da comunidade. Exemplo é demonstrado na figura 21 (BARABÁSI, 2014).

¹⁴Essas redes são: rede elétrica; internet; ligações de celulares; colaboração científica; atores; e-mail; proteína; metabólica; *www* e citação.

Figura 21 – Partição ótima com emprego de modularidade

Fonte: Adaptada de Barabási (2014, p. 20, ch. 9).

A maximização de M também pode ser utilizada para decidir qual das partições do método hierárquico melhor representa a estrutura de comunidades da rede. Desse modo, a modularidade coopera na maximização da efetividade na identificação de comunidades em métodos de agrupamento hierárquico (BARABÁSI, 2014).

Todavia, a maximização de modularidade força comunidades pequenas em outras maiores. Assim, deixa de captar nuances da estrutura de comunidades da rede (FORTUNATO; BARTHÉLEMY, 2007). Mais especificamente, se duas comunidades satisfazem $k \leq \sqrt{2L}$, onde k é o grau total de cada uma (não necessariamente o k delas deve ser igual), caso exista ao menos uma aresta entre elas, ocorre fusão entre ambas (BARABÁSI, 2014).

Para solucionar tal problema, comunidades identificadas pelo cálculo de modularidade podem ser consideradas, em um segundo momento, redes isoladas do todo. Assim, posteriormente, grupos inseridos em tal comunidade serão identificados pelo cálculo de modularidade (BARABÁSI, 2014).

Ainda, a modularidade demonstra outra limitação. Em contradição com a premissa em que aquela se embasa, existem indicações de que redes aleatórias apresentam partições com alta modularidade (GUIMERÁ; SALES-PARDO; AMARAL, 2004; REICHARDT; BORNHOLDT, 2007). Todavia, o cálculo de modularidade apresentado por Blondel et al. (2008) aparenta contornar esse típico problema. Também relativo ao mesmo problema, os mesmos autores indicam que se deve prestar atenção nas soluções intermediárias (antes da final)

da modularidade que apresentam, pois tais soluções podem conter o desenho de comunidades mais preciso da estrutura da rede.

2.2.3.2.3 Os métodos de identificação de comunidades mais precisos

Dadas a variabilidade de distintos métodos de identificação de comunidades, levanta-se o questionamento de quais desses são os mais precisos. A precisão é mensurada em relação a duas variáveis. A primeira mensura a diferença de densidade dentro e entre comunidades, que é representada por μ . Quanto menor μ , maior a diferença da densidade interna em relação à externa. Logo, quanto menor for o valor de μ , melhores resultados são esperados dos métodos de detecção de comunidade. Por fim, a segunda variável é a informação mútua normalizada que, quanto maior, representa melhor desempenho do método avaliado (BARABÁSI, 2014).

Sob a perspectiva dessas variáveis, distintos algoritmos de identificação de comunidades foram testados. Primeiro, dado o algoritmo Girvan – Newman (GN) como referência e, posteriormente, com o LFR como referência. Para ambos os casos, para valores de μ entre 0 e 0,4, vários algoritmos demonstraram valores muito próximos e altos de informação mútua normalizada. Ou seja, em casos cuja identificação de comunidades tende a não ser uma tarefa de grande dificuldade (dados os baixos valores de μ), vários algoritmos apresentam resultados similares (e de alta precisão) (BARABÁSI, 2014).

Caso μ demonstre valores maiores do que 0,4, no primeiro caso (Girvan – Newman como referência), o GN demonstrou resultados muitos similares ao resto dos algoritmos até 0,5 e, para valores superiores, foi o mais preciso. No segundo caso (LFR como referência), para μ maior do que 0,4 e menor do que aproximadamente 0,66, Louvain apresentou melhor desempenho. Para valores maiores do que aproximadamente 0,66, novamente GN foi o mais preciso (BARABÁSI, 2014).

Estruturas de comunidades ainda afetam o comportamento de fenômenos propagativos em redes (ONELLA et al., 2007; BARABÁSI, 2014). A compreensão da propagação engendra sua própria previsão. Isso demonstra utilidade, por exemplo, ao possibilitar a mitigação de epidemias de patógenos (BARABÁSI, 2014).

2.2.3.3 Fenômeno propagativo

Fenômenos propagativos descrevem o alastramento de distintos elementos, como vírus, ideias, produtos e padrões comportamentais. Tais fenômenos, apesar de ocorrerem em distintas

redes e seguirem distintos mecanismos de transmissão, obedecem a padrões em comum. Assim, podem ser descritos com o emprego da mesma estrutura teórica e de modelagem (BARABÁSI, 2014).

O estudo desse fenômeno requer a definição de contágio simples e complexo. O primeiro considera que, para que ocorra “infecção”, é necessário apenas que nós entrem em contato. Já o contágio complexo considera que, para que ocorra contágio, deve haver reforço (GRANOVETTER, 1978). Esse reforço é o contato com muitos indivíduos que já estão contagiados. Como comunidades apresentam arestas redundantes, elas demonstram importante papel em ofertar tal reforço, assim, elas incubam o elemento propagado. Por exemplo, quanto maior a fração de amigos que possuem celular que um indivíduo apresenta, maior a probabilidade desse último comprar um celular também (BARABÁSI, 2014).

O estudo fenômeno propagativo exposto a seguir considera, em um momento, densidade de infectados para compreender tal fenômeno. Desse modo, enquadra-se no estudo de contágio complexo. Todavia, para todos os outros momentos, não considera a vizinhança de um nó (que descreve reforço sobre o mesmo) para analisar a propagação analisada. Logo, para todos esses momentos, enquadra-se no estudo de contágio simples.

2.2.3.3.1 Propagação de acordo com modelo epidêmico

Para compreender epidemias, foram desenvolvidos modelos epidêmicos. Alinhado com o fato de que os fenômenos propagativos podem ser descritos com utilização da mesma estrutura teórica e modelagem, tais modelos epidêmicos podem ser válidos para captar propriedades de distintos fenômenos propagativos. Assim, no estudo do modelo epidêmico, “doença” e “patógeno” também podem ser interpretados, dado o contexto, como comportamento, padrões e ideias.

Aqueles modelos epidêmicos se fundamentam em duas hipóteses. A primeira assume que cada indivíduo possui a mesma probabilidade de entrar em contato com um indivíduo contaminado. A segunda classifica indivíduos de acordo com o estado em que se encontram perante a doença. A classificação mais simples é composta por três estados. O primeiro é o suscetível (S), no qual se enquadram indivíduos saudáveis que não entraram em contato com o patógeno. O segundo é o infectado (I), que engloba indivíduos que contraíram o patógeno e podem infectar outros indivíduos. Por fim, o terceiro estado é o recuperado (R). Esse diz respeito a indivíduos que, após terem contraído o patógeno, foram curados e não contaminam mais outros indivíduos (BARABÁSI, 2014).

Embasado em ambas as hipóteses, Barabási (2014) destaca três modelos: o SI (suscetível-infectado); SIS (suscetível-infectado-suscetível) e SIR (suscetível-infectado-recuperado). A diferença entre o primeiro e o segundo é que, nesse último, indivíduos se recuperam da doença (e voltam a ser suscetíveis), diferente do primeiro modelo, no qual indivíduos nunca se recuperam. Já a diferença do segundo para o terceiro fundamenta-se no fato de que, nesse último, os indivíduos, após se recuperarem, não tornam a ser suscetíveis, mas sim tornam-se imunes.

O modelo SIS demonstra congruência com o funcionamento de fenômenos sociais. Tal alinhamento é descrito, por exemplo, pelo efeito de ascensão/queda/ascensão de modas e governos (dado o lado político que esses representam). Ainda, o modelo SIS é utilizado pelo importante artigo sobre fenômenos epidêmicos em redes livres de escala (que representam, dentre diversos sistemas, os sociais), escrito por Pastor-Santorrás e Vespignani (2001) (BARABÁSI, 2014).

Na perspectiva desse modelo, é determinada a probabilidade de uma doença ser transmitida de um indivíduo infectado para um suscetível em uma unidade de tempo (β). Tal probabilidade multiplicada por $\langle k \rangle$ determina a taxa de transmissão. Com a divisão dessa taxa pela taxa de recuperação (μ), é obtido o número reprodutivo básico (R_0). Esse último descreve o número médio de infecções (em indivíduos suscetíveis) geradas por um infectado em uma população completamente suscetível. Se $R_0 > 1$, a epidemia se propaga até certa proporção da população; se $R_0 < 1$, a epidemia morre. A equação que descreve a dinâmica desse modelo, onde i é a fração de indivíduos infectados em determinado tempo, é (BARABÁSI, 2014):

$$\frac{di}{dt} = \beta \langle k \rangle i(1 - i) - \mu i. \quad (2.19)$$

Todavia, como redes que representam sistemas reais demonstram variabilidade de grau e a conectividade importa para a propagação (de modas, ideias, patógenos e comportamentos), $\langle k \rangle$ não é suficiente para caracterizar a topologia de tais redes. Nessas, nós devem ser tratados de maneira distinta em relação ao seu grau (BARABÁSI, 2014).

Assim, para o cálculo da taxa de infecção, $\langle k \rangle$ não é mais utilizado. A dinâmica desse modelo (ainda SIS) é descrita por

$$\frac{di_k}{dt} = \beta(1 - i_k)k\theta_k(t) - \mu i_k, \quad (2.20)$$

onde $k\theta_k$ representa a densidade de nós infectados vizinhos a um suscetível. Dito de outro modo, é a proporção de nós que estão infectados (capazes de transmitir o patógeno) que são vizinhos de um que pode tornar-se infectado. A equação 2.20, por apresentar distintos valores de acordo com o grau, possui número de k_{max} equações para descrever o sistema todo, ou seja, uma equação para descrever cada distinto grau de nó da rede estudada (BARABÁSI, 2014).

2.2.3.3.2 Propagação de acordo com a topologia da rede

Outro fator que afeta a dinâmica do fenômeno propagativo é a topologia da rede estudada. Isso é exemplificado por conclusões geradas pelo modelo do limite.

O último foi desenvolvido com o intuito de compreender o desaparecimento de algumas modas e vírus e a propagação de outros (BARABÁSI, 2002). Esse modelo analisa duas medidas. A primeira é a taxa propagativa, que representa a probabilidade de um nó ser contaminado. Assim, quanto maior essa taxa for, maior a probabilidade de a doença se propagar. Sob a perspectiva do modelo SIS, tal taxa é determinada por (BARABÁSI, 2014)

$$\lambda = \frac{\beta}{\mu}. \quad (2.21)$$

A segunda medida é o limiar crítico ou limiar epidêmico, que, ao ser comparada com a taxa propagativa, determina o futuro do fenômeno estudado. Para redes com uma distribuição de grau arbitrária, no modelo SIS, tal limiar é determinado por

$$\lambda_c = \frac{\langle k \rangle}{\langle k^2 \rangle}. \quad (2.22)$$

No caso de a taxa superar o limite, o fenômeno se espalha, caso contrário, ele desaparece em pouco tempo (BARABÁSI, 2002; BARABÁSI, 2014). De maneira análoga, essa relação entre taxa propagativa e limite crítico é semelhante à relação entre R_0 e o número “um”.

Fundamentado na existência de hubs, para redes livres de escala, o limiar crítico desaparece (ou seja, não existe). Isso acontece pois os hubs, por serem altamente conectados, demonstram altas chances de se infectarem e, posteriormente, disseminarem o elemento propagado (BARABÁSI, 2002). Matematicamente, esse fenômeno é explicado pelo fato de que $\langle k^2 \rangle$ diverge para $N \rightarrow \infty$. Assim, hubs funcionam como um reservatório de elementos

propagativos e, mesmo que o vírus demonstre baixa taxa propagativa, esse vírus pode persistir na população (BARABÁSI, 2014).

Ainda, como a equação que determina o limiar epidêmico se fundamenta em $\langle k^2 \rangle$, a rede não precisa ser livre de escala para que o limiar epidêmico seja inexistente. A rede apenas precisa ser heterogênea (BARABÁSI, 2014).

Além do apresentado, outra propriedade de fenômeno propagativo é dependente da heterogeneidade da rede. Tal propriedade diz respeito ao tempo característico, que é o tempo necessário para que $1/e$ (que resulta em aproximadamente 36%) de todos os nós suscetíveis sejam infectados. Esse tempo, de acordo com o modelo SIS, é determinado por

$$\tau^{SIS} = \frac{\langle k \rangle}{\beta \langle k^2 \rangle - \mu \langle k \rangle} . \quad (2.23)$$

Embasado na equação 2.23, para redes grandes (grande N) e heterogêneas, novamente por $\langle k^2 \rangle$ divergir para $N \rightarrow \infty$, o tempo característico (assim como o limiar epidêmico) desaparece. Isso gera a conclusão de que, para essas redes, um vírus pode instantaneamente atingir a maioria dos nós (BARABÁSI, 2014).

Essas especificidades referentes a fenômenos propagativos (desaparecimento do limiar crítico e do tempo característico) em redes livres de escala (assim como em qualquer grande rede heterogênea) possui os mesmos principais geradores quando analisada a robustez do mesmo tipo de rede: os hubs, que são as grandes manifestações de heterogeneidade. Logo, robustez e fenômenos propagativos demonstram esse ponto essencial em comum em redes livres de escala. E, assim como esse tipo de rede demonstra vulnerabilidade a ataques, isto é, tende a fragmentar-se com certa facilidade quando hubs são removidos, o mesmo procedimento (eliminar hubs) pode ser seguido para conter uma propagação. Tal fato é demonstrado pelo fato de, ao serem excluídos os hubs, o limiar crítico reaparecer (ou seja, passa a ser possível a taxa propagativa ser menor do que o limiar e o elemento propagado desaparecer). Assim, para restringir a propagação de um fenômeno, hubs devem ser “imunizados” (BARABÁSI, 2002). Em coerência, para aumentar a capacidade de alastramento de um fenômeno propagativo, hubs devem ser adicionados.

2.2.3.3.3 Especificidades de propagação para rede sociais

Fenômenos propagativos demonstram três especificidades para redes sociais. A primeira trata do tempo de contato entre nós (pessoas) e o impacto de tal tempo no fenômeno propagativo.

Sobre essa, destaca-se que o tempo de intervalo entre contatos da maioria dos sistemas sociais segue lei de potência (BARABÁSI, 2005; VAZQUEZ et al., 2006). Isso significa que, nesses sistemas, há tendência de existirem diversos contatos entre dois indivíduos cujo intervalo de tempo é curto. Todavia, concomitante com tal realidade, ocasionalmente existem contatos que possuem um longo período de tempo que os separam (BARABÁSI, 2014).

Isso altera a velocidade de decaimento do número de infectados: o último decai de maneira mais lenta quando comparado com a mesma velocidade esperada em um sistema em que relações ocorrem aleatoriamente no tempo (BARABÁSI, 2014). Assim, pela natureza interativa em sistemas sociais, esses apresentam característica que fortalece a conservação dos elementos propagados.

Já a segunda especificidade descreve um espaço melhor para visualizar uma propagação (em nível intermunicipal) do que o espaço geográfico. Esse espaço possui como unidade de medida, ao invés de metros ou quilômetros, distância efetiva. Essa última é determinada pela rede de mobilidade. Tal rede é dirigida e ponderada, na qual os nós são cidades e o peso das arestas é determinado por p_{ij} , que é a proporção de pessoas que saíram de i e chegaram em j (BROCKMMANN; HELBING, 2013).

Fundamentado em p_{ij} , a distância efetiva é determinada por

$$d_{ij} = (1 - \ln p_{ij}) \geq 0 . \quad (2.24)$$

Logo, caso p_{ij} seja pequeno, d_{ij} será grande; caso p_{ij} seja grande, d_{ij} será pequeno. Ao ser visualizado um fenômeno propagativo de acordo com a distância efetiva, é claro o efeito difusivo que parte da origem e caminha para pontos cada vez mais distantes (BROCKMMANN; HELBING, 2013).

Figura 22 – Efeito propagativo visto sob a ótica da distância efetiva

Quanto mais a direita a figura está posicionada, mais tempo se passou do início do fenômeno propagativo.

Fonte: Adaptado de Brockmann e Helbing (2013, p. 1339).

Assim, para identificar a origem de um alastramento, deve ser identificado um padrão nos nós cuja propagação descreva máxima simetria radial partindo de um ponto (BROCKMANN; HELBING, 2013). Na figura 22, tal ponto (origem) seria o nó de coloração escura, situado no centro de cada uma das quatro imagens.

Ainda, o tempo de chegada de um patógeno é determinado pela divisão da distância efetiva pela velocidade efetiva. A última é determinada pelos parâmetros epidemiológicos do patógeno. Todavia, a divisão do tempo de chegada de i até j pelo tempo de chegada de j até i independe dos parâmetros epidemiológicos. Assim, o tempo de chegada relativo independe da velocidade relativa e é determinado unicamente pela topologia da rede de mobilidade. Como padrões de mobilidade ao redor do mundo são únicos e independentes de modelos, as previsões feitas por distintos modelos convergem, independente das escolhas de parâmetros epidemiológicos que tais modelos tenham tomado (BARABÁSI, 2014).

Por fim, a terceira especificidade de redes sociais trata da tendência existente nessas últimas de os nós efetuarem conexões com outros de semelhante grau (em comparação com a suposição de que a conexão entre nós é feita de maneira aleatória). Essa tendência diminui o limiar epidêmico. Em coerência, redes cujos nós demonstram tendência de se conectarem com dissemelhantes (dado o grau), o limiar epidêmico aumenta. Tais tendências são estudadas por correlação de grau em redes (BARABÁSI, 2014; GOLTSEV; DOROGOVTSSEV; MENDES, 2008; MIEGHEM et al., 2010).

2.2.3.4 Correlação de grau

Se assumido que cada nó escolhe de maneira aleatória com quem ele irá se conectar, a probabilidade $(P_{k,k'})$ de um nó de grau k se conectar com um de grau k' é dada por:

$$P_{k,k'} = \frac{kk'}{2L}. \quad (2.25)$$

Caso uma rede demonstre número de conexão entre nós (dado o seu grau) que difere do esperado pela equação (2.25), é dito que essa rede demonstra correlação de grau. Redes que demonstrem correlação de grau podem ser assortativas ou desassortativas (BARABÁSI, 2014).

Redes assortativas são definidas pelo fato de os seus nós tenderem a efetuar conexões entre seus semelhantes, dado o grau, com maior frequência do que esperado caso as conexões forem feitas de maneira aleatória (isto é, seguindo a equação 2.25). Como mencionado, redes sociais tendem a apresentar essa característica e um exemplo disso é o fato de que celebridades (que são hubs de redes sociais) tendem a namorarem entre si (BARABÁSI, 2014).

Já redes desassortativas são caracterizadas pelo fato de os seus nós tenderem a efetuar conexões entre seus dissemelhantes, dado o grau, com maior frequência do que esperado caso as conexões forem feitas de maneira aleatória. Por exemplo, em redes metabólicas, hubs evitam outros hubs e efetuam conexões com nós de baixo grau (BARABÁSI, 2014).

Figura 23 – Representação de redes que apresentam correlação de grau, sendo uma é assortativa (a) e a outra desassortativa (b)

Fonte: Redner (2008, p. 48).

Por fim, redes cujas conexões de nós coincidem com o esperado pela equação (2.25), isto é, com o esperado caso as conexões fossem feitas de maneira aleatória, são chamadas de redes neutras. Nessas, o grau médio da vizinhança de um nó independente do grau desse último. Tais redes não demonstram correlação de grau (BARABÁSI, 2014).

Correlação de grau, além de afetar o limiar epidêmico, impacta em diversas outras características de redes. Todavia, para que isso seja realizado, inicialmente deve ser averiguado

se a correlação de grau (mais especificamente, a desassortatividade) é uma propriedade intrínseca a algum processo da rede ou é meramente oriunda da representação da rede.

2.2.3.4.1 Desassortatividade estrutural e randomização com preservação de grau

Em redes livres de escala que demonstram expoente inferior a três, representadas por redes simples (redes nas quais é permitida apenas uma aresta entre nós), a própria estrutura livre de escala faz com que a rede apresente menos conexões entre seus hubs do que seria esperado. Isso pois os hubs, como possuem grande grau, possuem alta probabilidade de estarem conectados entre si (como descrito pela equação (2.25)) e essa força de ligação pode superar “um”, ou seja, seria esperado mais de um elo entre dois nós. Como a rede (simples) não permite isso, ela passa a apresentar característica desassortativa. Esse fenômeno (desassortatividade oriunda da representação por rede simples) é chamado desassortatividade estrutural (BARABÁSI, 2014).

O número esperado de arestas entre k e k' para uma rede neutra é $E_{kk'} = \frac{kp_k k' p_{k'}}{\langle k \rangle} N$. Aprofundando, é esperada mais de uma aresta (isto é $E_{kk'} > 1$) apenas para os nós cujo grau excede o limite k_s . Esse limite, chamado de corte estrutural, escala de acordo com

$$k_s(N) \sim (\langle k \rangle N)^{1/2}. \quad (2.26)$$

Para redes livres de escala,

$$k_{max} \sim N^{\frac{1}{\gamma-1}}. \quad (2.27)$$

Assim, caso o expoente seja o expoente seja < 3 , o expoente de k_{max} passa a ser maior do que $1/2$, logo k_{max} pode ser maior do que k_s . Os nós que concretizam essa possibilidade manifestam, na rede, desassortatividade estrutural (BARABÁSI, 2014).

Já para redes aleatórias e livres de escala cujo expoente é maior ou igual a três, o expoente de k_{max} é menor do que $1/2$, assim, k_{max} é sempre menor do que k_s . Desse modo, não é esperada mais de uma aresta entre nós. Esse fenômeno é chamado de inexistência de corte estrutural (BARABÁSI, 2014).

Para averiguar se correlação de grau é gerada por desassortatividade estrutural, é empregada a randomização com preservação de grau na rede original. Essa randomização

preserva o grau de todos os nós da rede (consequentemente, também preserva a distribuição de grau) e, ao mesmo tempo, conecta aleatoriamente as arestas da rede (BARABÁSI, 2014).

Figura 24 – Randomização com preservação de grau

Os dois desenhos à esquerda representam a rede original e, os dois à direita, produtos da randomização com preservação de grau. Os desenhos representam em nível micro (acima) e macro (abaixo) tais redes. Fonte: Adaptado de Barabási (2014, p. 30, ch. 4).

Caso a rede original demonstre correlação e a rede randomizada não, a correlação, ao menos parcialmente, não é estrutural, mas sim oriunda de algum processo. Todavia, caso o número de arestas entre nós (dado o seu grau) da rede real e da randomizada sejam indistinguíveis, a correlação existente é toda estrutural (BARABÁSI, 2014).

Além da origem, os efeitos da correlação de grau são estudados pela literatura. Assim, é efetuada trajetória que parta de causas para consequências.

2.2.3.4.2 Correlação de grau, componente gigante e diâmetro

A correlação de grau impacta na transição de fase existente em redes aleatórias, isto é, na emergência da componente gigante. A apresentação dos impactos é dada pela figura 25 (BARABÁSI, 2014).

Figura 25 – Relação entre componente gigante e correlação de grau

No eixo horizontal, o grau médio; no vertical, a quantidade de nós que possui a componente gigante dividido pelo total de nós da rede.

Fonte: Adaptado de Barabási (2014, p. 26, ch. 7).

Nessa é expresso que, em redes assortativas, hubs aceleram a emergência da componente gigante (dado o grau médio necessário para que esse fenômeno ocorra). Quanto mais próximo da desassortatividade, mais lenta é essa emergência (BARABÁSI, 2014).

Já sobre outro aspecto e redes assortativas, a atração excessiva entre hubs nessas faz com que elas falhem em atrair para a componente gigante os nós de baixo grau. Assim, para regiões de alto $\langle k \rangle$, redes assortativas demonstram componente gigante de menor tamanho (BARABÁSI, 2014).

Como a correlação de grau impacta na componente gigante e essa, por sua vez, demonstra implicações em fenômenos propagativos, conclui-se que a primeira importa para análise dos últimos (EGUÍLUZ; KLEMM, 2002; BOGUÑÁ; PASTOR-SATORRAS, 2002). Exemplo de tal importância é o fato já apresentado de que redes assortativas e desassortativas, respectivamente, diminuem e aumentam o limiar epidêmico.

A correlação de grau também afeta a robustez da rede (VÁZQUEZ; MORENO, 2003). Mais especificamente, em redes assortativas, hubs conectados entre si formam um grupo central, no qual muitos hubs são redundantes. Assim, a remoção deles tem impacto menor do que em uma rede desassortativa pois, nessa última, a remoção de um hub faz com que diversos nós de grau baixo (conectados ao hub) descolem da rede (BARABÁSI, 2014).

Ainda, em redes assortativas, como muitos nós de baixo grau estão conectados entre si, o diâmetro desse tipo de rede é maior em comparação com redes desassortativas e neutras.

Todavia, o mesmo tipo de rede (assortativa) apresenta menor caminho médio quando comparado com redes desassortativas e neutras (BARABÁSI, 2014).

2.2.3.4.3 Correlação de grau e controlabilidade

Além dos efeitos gerados por correlação de grau já apresentados, correlação de grau também afeta a controlabilidade da rede¹⁵. Para efetuar análise de tais impactos, inicialmente afirma-se que um sistema dinâmico é controlável se, impostos sinais externos em um subconjunto de nós (chamados de nós condutores), tal sistema pode ser conduzido de qualquer estado inicial para um estado desejado. Ainda, para que o sistema seja controlável, essa mudança de estado deve ser executada em tempo finito (SLOTINE; LI, 1991; LUENBERGER, 1979). Por fim, o número mínimo de nós necessário para controlar uma rede é expresso por N_d ¹⁶ e a densidade desse número (que mensura a porcentagem de nós, em relação a N , que deve ser controlada para que o todo também seja) é dada $n_d = N_d/N$ (PÓSFAI et al., 2013).

Considerando isso, os efeitos de correlações entre graus são analisados sob a perspectiva de n_d . Isso é feito para redes aleatórias e para livres de escala (com expoente de distribuição de grau de 2,5), sendo ambas dirigidas, (PÓSFAI et al., 2013). A mutação de n_d é interpretada conforme a correlação (de Pearson) entre os graus dos nós que transita de -1 até 1. Como as redes são dirigidas, cada nó apresenta um grau de entrada e um de saída, assim, existem quatro tipos de correlações entre esses graus, expressas nas figuras 26 e 27 (PÓSFAI et al., 2013).

¹⁵Agrupamento e modularidade não apresentam efeitos consideráveis na controlabilidade da rede.

¹⁶Apenas para exemplificação de N_d em redes reais, para redes de regulação genética, N_d é próximo de 0,8. Ou seja, é necessário controlar, independentemente, 80% dos nós de toda a rede para controlá-la. Já para redes sociais, tais valores são bem menores (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

Figura 26 – Relação entre proporção de nós necessários para controlar a rede (eixo vertical) com a correlação de grau da mesma (eixo horizontal) para rede aleatória

Os graus médios são: 1 (vermelho), 3 (verde), 5 (azul), 7 (preto), 9 (laranja).

Fonte: Adaptado de Pósfaí et al. (2013, p. 3).

Figura 27 – Relação entre proporção de nós necessários para controlar a rede (eixo vertical) com a correlação de grau da mesma (eixo horizontal) para rede que segue lei de potência com expoente de 2,5

Os graus médios das redes são: 1 (vermelho), 3 (verde), 5 (azul), 7 (preto), 9 (laranja).
Fonte: Adaptado de Pósfaí et al. (2013, p. 4).

Os resultados obtidos são qualitativamente semelhantes entre os dois tipos de redes analisadas. Assim, ao considerar sempre as duas redes, n_d atinge o seu valor mínimo para correlações de grau de entrada-entrada (a) e de saída-saída (d), quando a correlação de grau é zero (rede neutra). Ainda a e d, caso a correlação distancie-se de 0, os valores de n_d aumentam. Já correlações de grau de entrada-saída (b) não impactam em n_d . Por fim, para correlação de grau de saída-entrada (c), n_d demonstra maiores valores quando tal correlação é -1. Conforme a correlação distancia-se desse valor, n_d decai e atinge um valor estável. Essa estabilidade, para a rede aleatória, é atingida quando r está próximo de -0,6 e, para a livre de escala, r próximo de 0,2 (PÓSFAI et al., 2013).

Do conjunto de fatos expressos, constata-se que, caso r entre os graus demonstre proximidade de 0, na maioria dos casos, a controlabilidade (expressa por n_d) é facilitada. Em congruência, caso r distancie-se de 0, excetuada a correlação de saída-entrada, n_d aumenta, o que pode ser interpretado como um incremento na dificuldade de controlabilidade da rede.

Ainda no mesmo caso, o sentido de r (positivo ou negativo) não parece alterar de maneira significativa os resultados. Assim, n_d é melhor explicada pela intensidade r do que seu sentido.

2.2.3.5 Controlabilidade

A controlabilidade também pode ser analisada em relação à distribuição de grau, heterogeneidade, grau médio. Ainda, ela pode ser interpretada de acordo com grau dos nós.

2.2.3.5.1 Relação de controlabilidade com distribuição de grau, heterogeneidade e grau médio

Para analisar a controlabilidade perante a distribuição de grau, foi aplicada randomização completa em redes reais. Esse processo preserva N e L da rede original e a transforma em uma rede aleatória. Esse procedimento proporcionou, em diversas redes, a inexistência de correlação entre N_d da rede randomizada e N_d da rede original (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

Também para redes reais foi aplicada randomização com preservação de grau. Todavia, nesse caso, foi observada pouca variação em N_d . Logo, de acordo com os resultados de ambas as randomizações, em grande medida, a controlabilidade de um sistema é dada pela distribuição de grau da rede que representa tal sistema (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

Em congruência, a equação que determina o valor de n_d (para redes livres de escala cujo expoente é o mesmo para grau de entrada, de saída e grau não dirigido, para o limite de $\langle k \rangle$ grande) (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011),

$$n_d \approx \exp \left[-\frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\gamma-1} \right) \langle k \rangle \right], \quad (2.28)$$

implica que, para $\langle k \rangle$ fixo, aumento em γ gera diminuição em n_d . Assim, redes mais heterogêneas tendem a ser menos controláveis e redes homogêneas, mais controláveis.

Aprofundando, mesmo caso mantido o γ , n_d aumenta monotonicamente com o aumento da heterogeneidade de grau. Essa última medida é nesse ponto determinada por $H = \Delta / \langle k \rangle$, onde

$$\Delta = \sum_i i \sum_j j |k_i - k_j| P(k_i) P(k_j) \quad (2.29)$$

é a diferença absoluta média de grau existente entre todos os pares de nós (i e j) tomados da distribuição de grau P_k . Logo, a heterogeneidade da rede (H) é zero para redes compostas por nós de mesmo grau (LIU; SLOITINE; BARABÁSI, 2011).

Sob outra perspectiva, a equação (2.28) ainda demonstra que, conforme $\langle k \rangle$ aumenta, n_d decai (o mesmo é válido para redes aleatórias, nas quais $n_D \approx e^{-\langle k \rangle/2}$). Ou seja, quanto mais densa é uma rede, menor o número necessário de nós para controlá-la. Tal relação entre $\langle k \rangle$ e n_d é não-linear; pequenas mudanças na densidade da rede resultam em variações de ordem de magnitude em n_d (LIU; SLOITINE; BARABÁSI, 2011).

Ao considerar todo o exposto, conclui-se que redes esparsas (redes em que $L \ll L_{max}$, isto é, pouco densas) (BARABÁSI, 2014) e heterogêneas requerem maior n_D do que redes densas e homogêneas. Heterogeneidade e baixa densidade são frequentemente vistas em sistemas complexos reais. Logo, tais sistemas tendem a ser essencialmente difíceis de serem controlados (LIU; SLOITINE; BARABÁSI, 2011).

2.2.3.5.2 Relação de controlabilidade com o grau dos nós

Para analisar a relação da controlabilidade com o grau de nós, é empregado um método que busca evitar uso de força bruta para identificar nós condutores (N_d). Para tanto, é provado que o número mínimo de nós condutores necessários para controlar uma rede é determinado pelo máximo conjunto de arestas que não compartilham um nó inicial (isto é, não saem de um mesmo nó) ou nó final (ou seja, não chegam em um mesmo nó). Esse conjunto de arestas é chamado de combinação máxima (CM). A análise da figura 28 é necessária para o aprofundamento desse tema (LIU; SLOITINE; BARABÁSI, 2011).

Figura 28 – Emprego de combinação máxima para identificar mínimo N_d possível em redes

Cada coluna expressa uma rede diferente em relação às outras colunas e a mesma rede em relação à mesma coluna. A primeira linha demonstra redes; a segunda as analisa sob a perspectiva de CM, nós combinados e controle externo (*input signal*); por fim, a terceira linha classifica arestas de acordo com sua importância perante o impacto que suas remoções geram em N_d (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

Fonte: Adaptado de Liu, Slotine e Barabási (2011, p. 168).

Como exemplo de CM, destaca-se o simples caso de b da figura 28. Nesse, nenhuma aresta possui um mesmo nó como originador ou como destino final, assim, todas as arestas fazem parte da CM (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

Aprofundando, da definição de CM conclui-se que ela considera que um nó pode controlar apenas um outro. Logo, a CM assume que um nó só pode ser controlado por um controlador. Disso decorre que o número de arestas que fazem parte da CM deve ser $n - 1$, onde n representa a quantidade de nós que são afetados por essa combinação. Do raciocínio também é decorrente que a CM manifesta-se em formato (topológico) de uma linha (não necessariamente reta).

Além de CM, há outro conceito de importância para a captação de relações entre controlabilidade e grau de nó. Esse é o conceito de nó combinado. Um nó é combinado caso exista uma aresta, componente da CM, que indique para ele. Por exemplo, em c, apenas o nó x_1 não faz parte do fluxo ditado pela CM (indicada por arestas vermelhas), assim, apenas o nó x_1 não está combinado no desenho c, expresso por ele estar pintado em branco no mesmo desenho. Ainda no desenho c, os outros nós estarem pintados de verde indica que eles estão combinados (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

A definição de nós combinados é importante pois é possível controlar uma rede se e apenas se cada nó não combinado na rede é controlado e há caminhos diretos desse tipo de nó para todos os combinados (YU et al., 2010). Logo, como em c apenas o nó x_1 não está combinado, ele deve ser controlado. Ainda, há caminhos diretos desse nó para todos os combinados. Logo, como demonstrado em c, o controle externo em x_1 (expresso por u_1) possibilita o controle de toda a rede. Assim, com a identificação de todos os nós não combinados, sendo que existem caminhos diretos desses nós para todos os combinados, é possível determinar N_d (LIU; SLOITINE; BARABÁSI, 2011). Sobre o desenho c, é necessário controlar apenas um nó (x_1), logo, N_d é 1 e n_d é $\frac{1}{4} = 25\%$ de todos os nós da rede.

Já no desenho f (que representa a mesma rede de e), todas as três arestas compartilham o mesmo nó de partida (x_1). Logo, para a CM ser identificada, apenas uma das arestas deve ser selecionada e todas as outras (duas) não devem ser consideradas. Assim, nessa rede sempre existem três nós não combinados (sendo que um deles indica diretamente para o nó combinado). Logo, n_d dessa rede é $\frac{3}{4} = 75\%$. Como expresso no desenho f, há três maneiras distintas de controlar a rede, em todas há apenas um nó combinado. O último é ou x_2 , x_3 ou x_4 e nunca x_1 pois não há aresta que aponta para ele que participa da CM (LIU; SLOITINE; BARABÁSI, 2011).

Com o emprego desse método para identificar os nós condutores, é feita a análise sobre N_d (representante da controlabilidade) e o grau de nós. Para redes reais e modelos que seguem redes aleatórias e livres de escala com expoente de valor três, nós foram divididos em três grupos do mesmo tamanho: de baixo, médio e alto grau. A fração identificada de nós condutores em cada um dos grupos é maior para o grupo de menor grau, em segundo lugar ficam os nós de grau médio e, em último, os nós de alto grau (LIU; SLOITINE; BARABÁSI, 2011).

Ainda, para diversas redes reais (WWW, internet, de comunicação social, metabólica e outras) é comparado o grau médio dos nós condutores com o grau médio da rede. Para todos os casos, a primeira medida é menor do que a segunda. Assim, com base nisso e no apresentado anteriormente (o fato de um grupo de nós de baixo grau demonstrarem maior fração de nós condutores), Liu, Slotine e Barabási (2011) concluem que nós condutores tendem a evitar os hubs. Desse modo, apesar de hubs serem importantes para análise de robustez e de fenômenos propagativos em redes, surpreendentemente eles não demonstram grande importância na controlabilidade da rede. Para esse tema, os nós de principal importância são os de baixo grau¹⁷.

¹⁷Esse fato demonstra coerência com a análise de contenção de efeitos em cascata: nesse cenário e no de controle de redes, nós de baixo grau demonstram maior relevância para alcançar o objetivo traçado.

Por fim, é analisada a robustez da controlabilidade de redes perante falhas em arestas. Para tanto, inicialmente, as arestas são classificadas em três distintas categorias. A primeira é a das arestas críticas, cuja falha gera aumento em N_d . Na figura 28, mais especificamente no desenho d, isso é mostrado exemplo no qual a remoção de qualquer uma das três arestas (expressas em vermelho) geraria aumento em N_d (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

Outra das três categorias são arestas redundantes, cuja remoção não altera N_d . Um exemplo é expresso na figura 28 no desenho j, cuja remoção da aresta verde (redundante) não aumenta N_d . Por fim, caso as arestas não sejam redundantes ou críticas, elas são ordinárias (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

Embasado nessas classificações, a densidade dos tipos de arestas de redes reais é analisada. O resultado é expresso na figura 29, na qual em verde são representadas arestas redundantes (l_r); em vermelho, as críticas (l_c) e em cinza, as arestas ordinárias (l_o).

Figura 29 – Densidade de tipo de arestas em redes reais

Fonte: Liu, Slotine e Barabási (2011, p. 172).

Para que a controlabilidade seja robusta em relação às falhas de arestas, devem ser dobradas as arestas críticas. Desse modo, as últimas são transformadas em redundantes e a falha dessas não compromete a controlabilidade da rede (LIU; SLOTINE; BARABÁSI, 2011).

2.2.4 Conectividade de redes e além

Como demonstrado, propriedades, fenômenos e comportamentos são descritos (em distintos aspectos) com grande precisão pela análise de redes. Além da teoria de redes, a

conectividade pode ser vislumbrada sob outras perspectivas. Como a conectividade, em diversas dessas perspectivas, naturalmente vincula-se à complexidade comportamental, ao mesmo tempo em que ela ataca bases do reducionismo, corrobora para o enfraquecimento (e transmutação) da concepção de “predição”.

2.3 A queda do reducionismo e enfraquecimento da noção de predição: teoria geral dos sistemas, sistemas complexos e física

O PVMH contrapõe-se, em diversas dimensões, PCN. Como, sob as lentes do último, o universo é maquinal (CAPRA, 2006), é razoável assumir que o PVMH tende a demonstrar percepção orgânica sobre o mesmo objeto. Isso é reforçado pelo fato de a percepção em redes ser central para esse paradigma (CAPRA; LUISI, 2014) e o arranjo reticular ser uma propriedade onipresente em sistemas vivos (CAPRA, 2006).

Assim, compreendendo o conflito entre paradigmas, analogicamente, como entre máquina morta (PCN) e organismo vivo (PVMH), é natural que ocorressem ataques destinados àquela máquina, partindo de um movimento que valorize a vida. Em congruência, apesar do reconhecimento da importância de as conexões entre elementos haver-se feito presente em diversas áreas do saber no início do século XX, o destaque pelo pioneirismo nesse período é dado para a biologia (CAPRA, 2006). Por fim, destaca-se que, no estudo sobre conectividade e o enfraquecimento de “predição”, é frequente a identificação (intencional ou não) de propriedades caracterizadoras de seres vivos.

Nesse contexto, destaca-se o biólogo Ludwig Von Bertalanffy. Para desenvolver seu pensamento, Bertalanffy utilizou principalmente a palavra *sistema*. A última deriva da palavra grega *synhistanai*, que significa “colocar junto”. A palavra “sistema” passou a ser utilizada para retratar um todo interconectado, cujas características essenciais emergem dos elos entre as partes que o compõem (CAPRA; LUISI, 2014; CAPRA, 2006).

Alinhado com tal percepção, o *pensamento sistêmico* é “a compreensão de um fenômeno dentro do contexto de um todo maior”. Isso caracteriza o pensamento sistêmico como *contextual*, que é o oposto do pensamento analítico (CAPRA, 2006, p. 39).

O pensamento contextual é um fio de pensamento sistêmico. Ainda há outro fio, originado também no início do século XX, chamado de *pensamento processual*. Esse outro fio também se diferencia do arcabouço mecanicista (da ciência cartesiana). Isso pois, nesse último, existem estruturas fundamentais e, em seguida, forças e mecanismos por meio dos quais elas interagem e, assim, originam processos. Todavia, na ciência sistêmica, toda estrutura é vista

como manifestação de processos subjacentes. Assim, o processo é o gerador da estrutura; essa última é a materialização do primeiro. Isso caracteriza o pensamento sistêmico como sempre processual (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014). O aspecto contextual, durante a primeira metade do século XX, foi enfatizado pela primeira vez por Bertalanffy (CAPRA, 2006).

Esse último notou que elementos formados pela interação de seus componentes produzem distintas dinâmicas das obtidas pelo estudo de tais componentes de forma separada (CASANOVA, 2006; BERTALANFFY, 2009). Bertalanffy indica que existem leis gerais de sistemas, que se aplicam a certos sistemas, independentemente das particularidades desses (BERTALANFFY, 1950). Assim, existem propriedades que são intrínsecas a sistemas. Logo, por tal natureza, essas propriedades são incompreensíveis por meio de estudo reducionista. Assim, Bertalanffy “dedicou-se a substituir os fundamentos mecanicistas da ciência pela visão holística” (CAPRA, 2006, p. 43).

A percepção de leis gerais de sistemas também fez com que Bertalanffy visasse formular e deduzir princípios que são válidos para sistemas em geral (MITCHELL, 2009; BERTALANFFY, 1950). Esse esforço gerou a Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 2010; CAPRA, 2006; MITCHELL, 2009). Tal teoria é:

[...] uma ciência geral de "totalidade", o que até agora era considerado uma concepção vaga, nebulosa e semimetafísica. Em forma elaborada, ela seria uma disciplina matemática puramente formal em si mesma, mas aplicável às várias ciências empíricas. (BERTALANFFY, 1968, p. 37).

Essa formalidade matemática é utilizada por Bertalanffy para tomar conclusões sobre sistemas. A compreensão da Teoria Geral dos Sistemas é mais proveitosa caso sejam conhecidas propriedades de sistemas abertos e fechados em relação ao equilíbrio termodinâmico, entropia e estado estacionário.

2.3.1 Sistemas isolados, fechados e abertos; equilíbrio; entropia e estado estacionário

Sistemas termodinâmicos podem ser classificados, de acordo com as relações que apresentam com seu meio (exterior), em três tipos. O primeiro é o sistema isolado, que não troca energia ou matéria com seu exterior. Já o segundo é o sistema fechado, que troca calor e energia mecânica com seu exterior, mas não troca matéria com o último. Por fim, um sistema aberto troca energia e matéria com seu exterior (KONDEPUDI; PRIGOGINE, 1998).

Sistemas também podem ser categorizados de acordo com o estado que apresentam. “Equilíbrio” descreve o estado de descanso de um sistema físico, o qual também é chamado (para um sistema fechado, por exemplo) de estado estacionário (RECORDATI; BELLINI, 2003). Um sistema está em equilíbrio termodinâmico caso não demonstre trocas de energia e matéria com seu meio (RECORDATI; BELLINI, 2003; NICOLIS; PRIGOGINE, 1989). Assim, o estado é descrito de acordo com as relações que o sistema apresenta com seu meio (KONDEPUDI; PRIGOGINE, 1998).

Todavia, dada a ausência de trocas de sistema isolados, “equilíbrio” para esses diz respeito ao estado de distintos compartimentos internos deles próprios (KONDEPUDI; PRIGOGINE, 1998). Já para um sistema fechado, esse estado (equilíbrio) é atingido caso sua temperatura e pressão igualem as de seu meio. Se existir diferença na temperatura ou pressão, é produzido (respectivamente) um fluxo de calor ou uma variação de volume (NICOLIS; PRIGOGINE, 1989). Por fim, em um sistema aberto, no qual constituintes químicos podem ser trocados com o meio, o equilíbrio termodinâmico demanda o equilíbrio adicional de potenciais químicos. Assim, o equilíbrio termodinâmico implica que certas variáveis internas e externas (como temperatura, pressão e potenciais químicos) atinjam valores idênticos (NICOLIS; PRIGOGINE, 1989).

Entretanto, em contraste com o já expresso sobre equilíbrio, sistemas abertos podem se manter afastados do equilíbrio (CAPRA, 2006; BERTALANFFY, 1950) e, mesmo assim, demonstram capacidade de atingir um estado estacionário (CAPRA, 2006). Esse último ocorre quando esses sistemas apresentam regime de dinâmicas estáveis enquanto permanecem constantes em suas composições (isso apesar dos contínuos processos ocorrentes) (BERTALANFFY, 1969). Esse equilíbrio dinâmico é chamado de *Fliessgleichgewicht*, que significa “equilíbrio fluente” (CAPRA, 2006).

Já sobre entropia, destaca-se a segunda lei da termodinâmica. Essa aponta que sempre que energia (o potencial de um sistema de efetuar trabalho) é transformada em forma utilizável, também é produzida energia “inútil”, como um subproduto. O último é a entropia (WEST, 2017). Assim, a entropia é uma medida da energia que não pode ser convertida em trabalho (MITCHELL, 2009).

Ainda, a segunda lei da termodinâmica indica que a entropia nunca decai sem o trabalho de um agente externo. Sem esse trabalho, a entropia aumenta até atingir um valor máximo (MITCHELL, 2009). A mesma lei também aponta que qualquer sistema físico fechado se encaminha, espontaneamente, para uma desordem sempre crescente. Também nos sistemas fechados, a entropia sempre aumenta com o transcorrer do tempo. Como essa evolução da

entropia é acompanhada por aquele aumento de desordem, a entropia também é utilizada como uma medida de desordem (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014). Por fim, diferente dos sistemas fechados, os abertos podem diminuir sua entropia (CAPRA, 2006; BERTALANFFY, 1950).

2.3.2 Um esboço da Teoria Geral dos Sistemas

Na perspectiva da Teoria Geral dos Sistemas, um sistema é definido como um conjunto de elementos interagentes, nomeados de $P_1, P_2 \dots P_n$. Um aspecto quantitativo de tais elementos é chamado de $Q_1, Q_2 \dots Q_n$. As variações desse aspecto podem ser definidas por um sistema de equações diferenciais simultâneas. Considerando que o sistema composto por tais elementos apresenta número finito desses, no caso mais simples, aquele sistema de equações diferenciais simultâneas é da forma (BERTALANFFY, 1950):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ_1}{dt} &= f_1(Q_1, Q_2, \dots Q_n) \\ \frac{dQ_2}{dt} &= f_2(Q_1, Q_2, \dots Q_n) \\ \frac{dQ_n}{dt} &= f_n(Q_1, Q_2, \dots Q_n) \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Esse sistema de equações possui três soluções possíveis que descrevem o estado do sistema. Na primeira, o sistema pode atingir um estado estacionário com o transcorrer do tempo. Já na segunda, o sistema pode apresentar oscilações periódicas. Por fim, o sistema pode nunca atingir um estado estacionário (BERTALANFFY, 1950).

No caso de o sistema se aproximar de um estado estacionário, Bertalanffy (1950) indica que as variações (Q_1) desse tipo de sistema podem ser descritas pela distância do estado atual (estado esse descrito por Q_1') em relação ao estado estacionário. Dado que Q_1^* representa as soluções para o estado estacionário, novas variáveis: $Q_1 = Q_1^* - Q_1'$ podem ser introduzidas de modo que $\frac{dQ_1}{dt} = f(Q_1^* - Q_1')(Q_2^* - Q_2') \dots (Q_n^* - Q_n')$.

As integrais de tais equações podem ser escritas em uma forma que contém os valores finais. Isso faz aparentar que os processos atuais são determinados pelos valores finais (atingidos em tempo infinito), isto é, o sistema aparenta visar, de maneira teleológica, um equilíbrio. Tal fato engendra a esse sistema um caráter finalista (BERTALANFFY, 1950).

Também embasado na equação (2.30), Bertalanffy afirma que existem sistemas em que o coeficiente de Q_i decai com o tempo. Ou seja, os elementos vão deixando de interagir entre si. Assim, o sistema deixa de funcionar como um todo, isto é, não mais mudanças em cada elemento dependem de todos os outros elementos, mas sim o sistema é caracterizado por um estado de independência entre seus elementos. Isso descreve a trajetória de um sistema unitário que, gradualmente, se divide em cadeias causais independentes. Tal mudança no sistema é chamada de *segregação progressiva* (BERTALANFFY, 1950).

Bertalanffy elenca essa segregação com *progresso* e afirma que esse último é possível apenas com a passagem de um estado de todo indiferenciado para a diferenciação das partes desse todo. Tal fato implica que as partes (desenvolvidas pela diferenciação) tornam-se fixas em respeito à determinada ação, isto é, aquelas possuem suas funções limitadas. Logo, segregação progressiva leva a progresso e, simultaneamente, a mecanização (BERTALANFFY, 1950).

A mecanização, isto é, a especialização de partes, faz com que essas tornem-se cada vez mais insubstituíveis. Consequentemente, mais facilmente a perda de partes gera quebra de funcionamento do sistema como um todo. Assim, o progresso de sistemas é acompanhado por queda de robustez (BERTALANFFY, 1950).

Ainda ao tratar de independência entre as partes, a segregação é especialmente importante e predominante na natureza viva. Aparentemente, o motivo de tal predominância é que a segregação do sistema primário unitário em sistemas parciais subordinados implica em aumento de complexidade, isto é, transição para ordens superiores, no sistema. Essa transição pressupõe oferta de energia e isso ocorre de maneira contínua apenas se o sistema for aberto (BERTALANFFY, 1950). Dessa forma, como, de acordo com Bertalanffy, organismos vivos são sistemas abertos (CAPRA, 2006) e a maioria dos sistemas de natureza inanimada são fechados (BERTALANFFY, 1950; CAPRA, 2006), aquela predominância é explicada.

Por fim, destaca-se que apenas sistemas abertos demonstram capacidade de atingir seu estado final partindo de distintos estados iniciais e percorrendo distintos caminhos. Essa capacidade é chamada de equifinalidade e significa, além do apresentado, que o estado estável do sistema é independente das condições iniciais. A equifinalidade é identificada apenas em casos excepcionais na natureza inanimada (BERTALANFFY, 1950). Isso novamente explica-se pelo fato de sistemas dessa natureza tenderem a ser fechados e os seres vivos serem sistemas abertos (BERTALANFFY, 1950; CAPRA, 2006).

2.3.3 Laço de realimentação

Ao prosseguir a caracterização de sistemas e suas relações com seres vivos, tem-se que há um padrão comum de organização, identificado em todos os organismos vivos. Esse padrão é a reticularidade, isto é, todos os sistemas vivos apresentam seus componentes arranjados em redes (CAPRA, 2006). Apesar desse destaque para sistemas vivos, o que será descrito a seguir não necessariamente precisa se referir a elementos vivos, mas sim qualquer sistema que se organize em rede.

É possível que um elemento propagado pela rede (como informação) possa viajar por um caminho cíclico. Esse último pode tornar-se um laço de realimentação (CAPRA, 2006). Capra define laço de realimentação como:

[...] um arranjo circular de elementos ligados por vínculos causais, no qual uma causa inicial se propaga ao redor das articulações do laço, de modo que cada elemento tenha um efeito sobre o seguinte, até que o último “realimenta” (*feeds back*) o efeito sobre o primeiro elemento do ciclo[...]. A consequência desse arranjo é que a primeira articulação (“entrada”) é afetada pela última (“saída”), [...] o efeito inicial é modificado cada vez que viaja ao redor do ciclo. (CAPRA, 2006, p. 59).

Figura 30 – Causalidade de um laço de realimentação

Fonte: Adaptada de Capra (2006 p. 60).

O laço de realimentação pode ser distinguido em dois tipos distintos: positivos e negativos. A definição em qual tipo se enquadra o laço (caráter global do último) é fundamentada nos elos causais entre elementos (nível micro do laço). Os últimos também são de dois tipos: positivos ou negativos. Um elo causal é positivo se uma mudança em A gera mudança em B no mesmo sentido, isto é, caso A aumente, B também aumenta; caso A diminua, B também diminui. Já um elo causal negativo é determinado por uma mudança em A gerar mudança em B no sentido oposto (CAPRA, 2006).

Embasado em tais definições, o laço de realimentação é caracterizado. Ele é negativo (também chamado de laço de autoequilibração) se possui número ímpar de elos causais

negativos, caso contrário, o laço é positivo (conhecido também como laço de autorreforço) (CAPRA, 2006).

Exemplos do último tipo de realimentação são círculos viciosos, nos quais o efeito inicial continua a ser amplificado (CAPRA, 2006). Já laços negativos proporcionam equilíbrio e possibilidade, para o sistema, de propriedades distintas das oriundas do laço positivo vigente. Sobre o último fato, Wolf e Holvoet (2005) apontam que, nos casos em que é existente alinhamento com laços de realimentação positivos, a única ação que possibilita novo alinhamento são laços de realimentação negativos. Assim, tem-se que o processo de realimentação pode tornar causas pequenas em grandes efeitos e forma a base de instabilidades e de súbita emergência (no sentido de ascensão) de novas formas de ordem (CAPRA; LUISI, 2014).

2.3.4 Sistemas lineares e não-lineares

Tal emergência é possível pois as interações entre os componentes de um sistema podem gerar algo novo. Essa é uma propriedade de um sistema não-linear. Para melhor compreender esse, inicialmente é útil compreender um sistema linear.

Um sistema, em perspectiva matemática, é chamado de linear¹⁸ caso todas as variáveis, situadas no lado direito das equações que descrevem o estado do sistema, demonstrem potência igual a um (STROGATZ, 1994). Sistemas lineares apresentam características específicas. Nesses, pequenas causas geram pequenos efeitos; grandes efeitos são necessariamente decorrentes de grandes causas ou de um grande conjunto de pequenas causas (CAPRA; LUISI, 2014). Desse modo, nesse tipo de sistema, em perspectiva física, os componentes não interagem para criar algo novo. Dito de outra maneira, esses sistemas são feitos por componentes cujas propriedades não são afetadas pela presença de outros componentes (FELDMAN, 2012). Assim, em um sistema linear, a soma de seus componentes é igual ao todo (MITCHELL, 2009). Desse modo, por ser possível ignorar as relações entre os componentes, com emprego de método (reducionista) semelhante ao analítico de Descartes, é possível compreender um sistema linear.

¹⁸Para que uma equação seja linear, é necessário e suficiente que ela tenha uma propriedade. Essa é, dado que A e B são soluções e c é um número qualquer, deve ser verdadeiro que soluções A e $B \Rightarrow A + cB$ é uma solução, para todo c . Disso decorre que, apesar do nome “linear” da equação, nem todas as funções que desenham linhas satisfazem essa propriedade. A linearidade gráfica que não indica que a equação descrita é linear acontece caso a interceptação de y não seja zero (FELDMAN, 2012).

Já um sistema não-linear, sob a ótica da matemática, é assim definido caso uma ou mais das variáveis situadas no lado direito das equações que descrevem o estado do sistema demonstrem potência diferente de um (STROGATZ, 1994). Os sistemas não-lineares também apresentam características específicas. Nesses, pela realimentação, pequenas causas podem gerar grandes efeitos (CAPRA; LUISI, 2014). Assim, sistemas não-lineares, em concepção física, apresentam interações entre seus componentes que impactam nos resultados de tais sistemas (FELDMAN, 2012). Ou seja, os componentes de um sistema não-linear interagem para formar algo novo (MITCHELL, 2009). Logo, o emprego de método analítico cartesiano é inefetivo para compreender esse tipo de sistema.

2.3.5 Sistemas complexos

Profundamente vinculado à não-linearidade, existem sistemas cuja predição do comportamento futuro é difícil. Tal predição, ao invés de dar-se por certezas, dá-se por probabilidades. Esse tipo de sistema é caracterizado por apresentar comportamento que depende crucialmente dos detalhes do sistema. Dito de outra forma, o comportamento do sistema pode ser extremamente sensível à forma das equações de movimento e uma pequena mudança nessas últimas pode gerar uma grande variação no comportamento do sistema. Caso isso seja verdadeiro, o sistema descrito é chamado de sistema complexo (PARISI, 2013).

Essa é uma visão predominantemente matemática (e comportamental) de sistemas complexos. Apesar de ser, inexistente uma definição técnica precisa dos mesmos (NEWMAN, 2011); uma definição, sob o aspecto físico (e comportamental) de tais sistemas, com pouca variabilidade, é comumente aceita para academia. Como, apesar de pequena, a variabilidade existe (isto é, existem distintas definições sobre esse mesmo objeto), devem ser tomadas distintas definições de sistemas complexos e identificadas congruências entre propriedades presentes nessas caracterizações.

Uma dessas definições vislumbra um sistema complexo como um sistema que demonstra características coletivas (que são dificilmente previstas), chamadas de comportamento emergente (no sentido de ascensão), em seus componentes (que são uma miríade), originadas pelo fato de esses últimos estarem conectados. Logo, uma característica universal de sistemas complexos é que o todo é maior (e, frequentemente, significativamente diferente) do que a soma linear das partes que o compõem. Por fim, apesar da auto-organização não ser tomada como necessária para definir sistemas complexos, ela é tratada como uma característica crítica de muitos desses sistemas (WEST, 2017).

Figura 31 - Ilustração de um sistema complexo

As esferas representam componentes do sistema; as flechas existentes entre os componentes expressam interações entre eles; as duas grandes flechas laterais indicam ascensão, emergência; o arranjo de componentes superior, em vermelho, expressa um coletivo coerente. A coerência é expressa pela maior espessura de conexões entre os componentes (isto é, estão profundamente vinculados); por eles apresentarem cores muito similares; por estarem mais próximos e, por fim, pela flecha circular que circunscreve esse coletivo de componentes, dado que ela representa coerência que os integra.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Demonstrando grande concordância com West (2017), Mitchell (2009) afirma que um sistema complexo é um sistema que apresenta comportamentos (não triviais) emergentes e auto-organizadores. Ainda segundo a mesma autora, sistemas complexos são descritos por grandes redes (nos quais os nós são os componentes).

Dadas essas três definições, é destacada a congruência entre todas em relação a dois aspectos. O primeiro é a dificuldade de previsão de comportamento futuro do sistema. Isso é expresso pelo fato de que a emergência é necessária para que um sistema seja um sistema complexo (WEST, 2017; MITCHELL, 2009; NEWMAN, 2011) e pelo fato de a emergência ser imprevisível (GOLDSTEIN, 1999).

Já o segundo aspecto é a não-linearidade inerente a esse tipo de sistema. Não-linearidade essa expressa pela sensibilidade do comportamento do sistema à forma de equações de movimento (PARASI, 2013); pelo fato de o todo ser maior do que a soma linear das partes (WEST, 2017) e pela existência de emergência (MITCHELL, 2009), dado que a última gera, por meio de interações entre os componentes do sistema, produtos que não são redutíveis aos componentes (WOLF; HOLVOET, 2005; GOLDSTEIN, 1999). Assim, a não-linearidade (manifesta, por exemplo, na emergência) é uma causa da dificuldade de previsão.

Como os processos de realimentação amplificam causas e formam as bases de instabilidades (CAPRA; LUISI, 2014), para ambos os aspectos identificados como

caracterizadores de sistemas complexos (dificuldade de previsão e não-linearidade), aqueles processos são de vital importância. Disso decorre a crucial importância da conectividade entre os componentes, uma vez que essa característica é a proporcionadora de realimentação.

Além da essencial importância de conexões entre elementos na caracterização de sistemas complexos, outra propriedade desses sistemas recebe grande destaque. West (2017), Mitchell (2009) e Newman (2011) afirmam que um sistema complexo tende a ser grande, isto é, formado por grande quantidade de componentes.

Por fim, como é destacada a importância de emergência para a caracterização de sistemas complexos e a auto-organização também é tratada como um importante aspecto desses sistemas (WEST, 2017; MITCHELL, 2009), emergência e auto-organização devem ser estudadas. Todavia, se anteriormente forem conhecidos métodos de estudo comumente utilizados para análise de sistemas complexos (com destaque para atratores no espaço de fase), passam a ser compreendidos termos úteis para o entendimento de emergência e auto-organização.

2.3.5.1 Estudo de sistemas complexos: espaço de fase e atratores

Métodos de estudo de sistemas complexos estão atrelados à não-linearidade de equações. Equações não-lineares tendem a ser muito difíceis de ser resolvidas de maneira analítica. Assim, para a resolução de tais equações, é empregado um tipo de resolução chamada numérica (em contraste, equações lineares são resolvidas pela manipulação das mesmas até a obtenção de um resultado final; tal procedimento é chamado de resolução analítica). Esse tipo de resolução utiliza-se de tentativa e erro de várias combinações de números para as variáveis. Isso é feito até serem encontradas as combinações que se ajustam à equação estudada. Logo, o resultado desse método é um grande conjunto de valores, para as variáveis, que satisfazem à equação (a resolução analítica demonstra, como resultado, uma fórmula) (CAPRA; LUISI, 2014).

A interpretação do significado desse resultado pode ser obtida pela inserção dos mesmos em um espaço matemático abstrato chamado de *espaço de fase*. Cada coordenada nesse espaço representa uma das variáveis e, assim, cada ponto no espaço de fase descreve todo o sistema (CAPRA; LUISI, 2014).

A análise do espaço de fase possibilita identificar atratores de um sistema. Um atrator é um comportamento final regular do sistema; possui esse nome pois ele “atrai” o comportamento do sistema (MITCHELL, 2009). Em coerência, os atratores fazem com que certos pontos no

espaço de fase (ou seja, certos estados do sistema) sejam atraídos para aqueles primeiros. Tal zona de atração é chamada de *bacia de atração*. Um sistema pode apresentar mais de um atrator (CAPRA; LUISI, 2014; CAPRA, 2006). Isso demonstra alinhamento com percepção de Bertalanffy (1950): os processos atuais são, aparentemente, determinados pelos valores finais.

Os atratores apresentam comportamento dividido em três tipos básicos. Mitchell (2009) afirma que o tipo de atrator é utilizado pela teoria de sistemas dinâmicos (que é o estudo de sistemas que mudam com o tempo) para caracterizar o comportamento de um sistema.

Os três tipos de atratores são: *atrator pontual*, que descreve que um sistema é atraído para um estado (apenas um ponto no espaço de fase) e nele se estabiliza; *atrator periódico*, que representa oscilações repetitivas nos estados do sistema, isto é, alguns resultados, depois de atingidos (de terem atraído o sistema), repetem-se em determinada sequência (alguns pontos repetem-se no espaço de fase); por fim, *atrator caótico*, também chamado de atrator estranho, composto por números que nunca se repetem e concomitantemente não vão até o infinito (todavia, é infinita a quantidade de pontos distintos que constituem um atrator caótico no espaço de fase) (CAPRA; LUISI, 2014).

Não há, aparentemente, definição padronizada sobre atratores caóticos. Todavia, eles são geralmente percebidos como atratores cujas dinâmicas são caóticas, detentores de estrutura fractal¹⁹.

Tomados os tipos de atratores, novamente existe semelhança no estudo de sistemas complexos com achados de Bertalanffy (1950): ambos identificaram três tipos básicos de comportamento de sistemas. Ainda, é possível identificar paralelos entre esses tipos de acordo com a complexidade dos mesmos. Nessa perspectiva, o estado estacionário, as oscilações periódicas e o não alcance de um estado estacionário são similares, respectivamente, ao atrator pontual, atrator periódico e atrator caótico.

Já para a representação visual de atratores, o movimento de um pêndulo é tomado como exemplo. No primeiro caso, o pêndulo sofre efeitos de atrito. Considerada a velocidade instantânea de movimento do pêndulo e o ângulo instantâneo do mesmo como as variáveis que descrevem o sistema, são marcados como pontos todos os estados que o sistema apresenta. Como esse é um sistema que, depois de ter atingido determinado estado (repouso no centro), tende a manter-se nesse, ele apresenta um atrator pontual (CAPRA; LUISI, 2014; CAPRA,

¹⁹Fractais demonstram forte proximidade com leis de potência, aprofundadas na teoria de redes. Além de leis de potência *serem* fractais, os últimos podem produzir leis de potência (MITCHELL, 2009).

2006). A figura 32 demonstra toda a trajetória desse pêndulo no espaço de fase. O atrator desse sistema não é a trajetória, mas sim apenas o ponto central (que representa repouso no centro), no qual velocidade e ângulo são iguais a zero.

Figura 32 – Trajetória no espaço de fase de um pêndulo com atrito como um exemplo de atrator pontual

Fonte: Capra (2006, p. 113).

Já no caso de um pêndulo sem atrito, o sistema é descrito por variação em estados que, depois de determinado tempo, repetem-se. Logo, o espaço de fase desse sistema apresenta um atrator periódico (CAPRA; LUISI, 2014; CAPRA, 2006). Nesse exemplo, todos os pontos da figura (que formam um desenho oval) representam o atrator.

Figura 33 – Atrator periódico de um pêndulo sem atrito

Fonte: Capra (2006, p. 112).

Por fim, toma-se um “pêndulo caótico”, estudado pela primeira vez pelo matemático Yoshisuke Ueda. Cada balanço desse oscilador é único. O movimento desse pêndulo descreve, no espaço de fase, um exemplo de um atrator caótico (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014).

Figura 34 – Atrator caótico

Fonte: Ueda et al.²⁰ (1993) apud Capra (2006, p. 114).

2.3.5.2 Caos

Em coerência com o fato de que o tipo de atrator caracteriza o comportamento do sistema (MITCHELL, 2009), Feldman (2012) afirma que a dinâmica de um sistema que possui um atrator caótico é totalmente caótica. Aprofundando sobre o tema, um sistema dinâmico é caótico²¹ se possui quatro propriedades. Antes de conhecê-las, é importante compreender os principais tipos de sistemas dinâmicos (uma vez que o tema abordado trata de sistemas que mudam com o tempo) e a terminologia básica referente ao tipo de sistema empregado para dar continuidade ao estudo de sistemas complexos e de sistemas caóticos.

Existem dois tipos principais de sistemas dinâmicos: mapas iterados e equações diferenciais. As últimas descrevem a evolução do sistema estudado em tempo contínuo; os mapas descrevem a mesma evolução em tempo discreto (STROGATZ, 1994). Por meio de estudo de mapas iterados, é possível demonstrar as propriedades de sistemas que descrevem o

²⁰UEDA, Y. et al. Behavior of the Soliton to Duffing's Equation for Large Forcing Amplitudes. **Mathematical Research** 72, p. 149-166, 1993.

²¹Dada a exceção de um sistema de infinitas dimensões, caos é apenas possível em sistemas não-lineares (FELDMAN, 2012).

caos. Simultaneamente, tais mapas são mais simples do que equações diferenciais. Assim, o estudo aqui desenvolvido focaliza-se nos mapas iterados.

Iteração (palavra derivada de palavra latina que significa “repetição”) (CAPRA; LUISI, 2014) “implica fazer a mesma coisa, de novo e de novo, usando a saída da etapa anterior como a entrada da próxima etapa” (FELDMAN, 2012, p. 17). O processo de iteração de uma função gera uma sequência de números chamada de órbita (FELDMAN, 2012).

Com esses conhecimentos, é possível compreender as quatro propriedades necessárias para um sistema dinâmico ser caótico. A primeira constata que a regra dinâmica do sistema (a regra que determina a órbita do sistema dinâmico) deve ser determinística. Presumindo que essa regra é uma função, a última é determinística caso a entrada (o alimento da função) determine o produto (o resultado da transformação que a função efetua). Ou seja, dada uma entrada, a função deve gerar sempre o mesmo resultado (FELDMAN, 2012). Por exemplo, caso uma função seja $f(x) = 2x$, caso $x = 2$, o resultado deve ser sempre 4.

A segunda propriedade afirma que a órbita deve ser limitada, ou seja, a órbita não atinge o infinito, mas sim situa-se entre um limite superior e inferior. A terceira propriedade exige que a órbita deve ser aperiódica, isto é, a órbita nunca se repete (FELDMAN, 2012).

Com o emprego das equações de Hénon (sistema esse mais conhecido como mapa de Hénon), é possível vislumbrar órbita periódica e aperiódica, além de demonstrar processo iterativo. O mapa de Hénon é definido por:

$$x_{n+1} = y_n + 1 - ax_n^2 \quad (2.31)$$

$$y_{n+1} = bx_n, \quad (2.32)$$

onde a e b são parâmetros (FELDMAN, 2012).

Dados estados iniciais de x e y , respectivamente, 1 e 2, e $a = 0,155$ e $b = 0,6$, o sistema é dado por $x_1 = 2 + 1 - 0,155.1^2$ e $y_1 = 0,6.1$, assim, $x_1 = 2,845$ e $y_1 = 0,6$. O processo iterativo utiliza esses resultados para efetuar o mesmo procedimento, ou seja, $x_2 = 0,6 + 1 - 0,155.2,845^2$ e $y_2 = 0,6.2,845$. Logo, $x_2 = 0,34543$ e $y_2 = 1,707$. O processo repete-se quantas vezes forem almejadas.

Com base nesse procedimento iterativo, utilizados os mesmos valores de x , y , a e b , é construída a série temporal dos resultados. No eixo vertical é demonstrado o valor das variáveis x e y (uma para cada série) e, no horizontal, o número de iterações feitas. Os pontos se

aproximam de dois estados que se repetem. Isso pois, para esses parâmetros, o sistema é periódico de período dois (dois pontos se repetem) (FELDMAN, 2012).

Figura 35– Série temporal mapa de Hénon para parâmetros que caracterizam o sistema com comportamento periódico de período dois

Fonte: Feldman (2012, p. 276).

Figura 36 – Diagrama de estado final para o mapa de Hénon com $a = 0,155$ e $b = 0,6$

Fonte: Feldman (2012, p. 277).

Se os parâmetros forem mudados, a dinâmica do sistema também se altera. Para $a = 1,4$, $b = 0,3$, $x_0 = 1$ e $y_0 = 2$, a órbita do mapa de Henón demonstra aperiodicidade (FELDMAN, 2012).

Figura 37 – Comportamento aperiódico da órbita do mapa de Hénon em série temporal

Fonte: Feldman (2012, p. 279).

Esse comportamento aparentemente desordenado ganha ordem ao ser visualizado no espaço de fase. Dados os mesmos parâmetros, alterados os estados iniciais de x e y para 0,6, é obtido um atrator caótico, que apresenta formato de bumerangue, mostrado na figura 38. Somado ao atrator, na mesma figura, é demonstrado o deslocamento do estado do sistema, no espaço de fase, para as iterações 50 até a 54. Esse movimento mostra que, apesar de o atrator ser contínuo, o movimento nele não é (FELDMAN, 2012). O movimento não segue a lógica de direcionar-se para pontos mais próximos no espaço de fase.

Figura 38 – Atrator caótico do mapa de Hénon e o deslocamento do estado do sistema para as iterações 50 até 54

Fonte: Feldman (2012, p. 282).

Retomada a análise das propriedades necessárias para um sistema dinâmico ser caótico, a última é: o sistema deve apresentar dependência sensível das condições iniciais (DSCI)²² (FELDMAN, 2012), também conhecida como efeito borboleta (CAPRA, 2006; FELDMAN, 2012). Um sistema que apresenta DSCI²³ possui a propriedade de que uma pequena mudança na condição inicial leva a uma grande mudança na órbita em um tempo relativamente curto. Dito de outra forma, para que um sistema possua DSCI, para essencialmente toda condição inicial (exceto a que descreve órbitas periódicas instáveis, que todo sistema caótico possui), deve ser válido o fato de uma pequena perturbação gerar, no comportamento a longo prazo, uma grande mudança. Por causa dessa propriedade, a previsão a longo prazo de um sistema caótico é impossível (FELDMAN, 2012).

A DSCI também pode ser definida matematicamente: a função f apresenta DSCI caso, para qualquer condição inicial x_0 ; qualquer distância máxima dessa condição inicial ϵ (erro inicial) e qualquer limiar de erro δ (situado dentro do intervalo que a órbita pode variar), deve ser possível identificar outra condição inicial y_0 que, em n iterações (dado que n é um inteiro), a órbita de y_0 encontra-se a uma distância maior do que δ da órbita de x_0 . Isto é, $|x_n - y_n| > \delta$ (FELDMAN, 2012).

Fundamentado na equação logística, $f(x) = rx(1 - x)$, um exemplo de DSCI pode ser demonstrado. Tomado $r = 4$ e duas condições iniciais extremamente próximas ($x_0 = 0,4$ e $y_0 = 0,400001$), é obtida a série temporal dessa equação, demonstrada na figura 39. Na última, os valores de x (condição inicial de 0,4) e y (condição inicial de 0,400001), determinados por iterações, são representados, respectivamente, por pontos quadrados conectados por linhas sólidas e por pontos triangulares conectados por linhas tracejadas. O eixo horizontal indica o número de iterações feitas; o vertical, os valores de x_t e y_t (FELDMAN, 2012).

²²A DSCI também pode ser identificada e até mensurada por meio do expoente de Lyapunov. Considerando que x_0 e y_0 são duas condições iniciais não idênticas; D_0 o módulo da diferença entre elas e $D(t)$ o módulo da diferença entre elas após t iterações. Para muitos sistemas, essas duas distâncias podem ser bem descritas, para t pequenos, pela função $D(t) \approx D_0 2^{\lambda t}$, onde λ é o expoente de Lyapunov. Caso tal expoente seja maior do que zero, o sistema apresenta DSCI, caso contrário, não. Quanto maior esse expoente for, maior a dependência sensível a condições iniciais que o sistema apresenta (FELDMAN, 2012).

²³Sistemas caóticos podem ser analisados por visão espacial geométrica. Para que um sistema possua DSCI, o sistema dinâmico deve efetuar algum tipo de “esticamento” que gera a separação (distanciamento) de condições iniciais. Todavia, para que a órbita seja limitada, o sistema deve efetuar um “dobramento”, que garante que as órbitas não cresçam sem limites. Assim, essas propriedades (órbita limitada e DSCI) ascendem de características geométricas do sistema dinâmico (FELDMAN, 2012).

Figura 39 – Demonstração de DSCI ou efeito borboleta

Fonte: Feldman (2012, p. 92).

Apesar de a diferença entre as condições iniciais ser minúscula, a partir da iteração 18, a diferença entre as órbitas já é considerável. Na iteração de número 20, tal diferença é gigantesca (FELDMAN, 2012).

Ainda, mesmo que as condições iniciais sejam captadas com infinita precisão de infinitas casas decimais, computadores não são capazes de armazenar números infinitos. Logo, em algum momento, ocorrerá um arredondamento numérico que, mesmo que minúsculo, será rapidamente amplificado por iterações em um sistema que apresenta DSCI (FELDMAN, 2012).

Esse aspecto imprevisível de sistemas caóticos pode frustrar o estudo que tem como intuito a predição dos mesmos. Todavia, apesar de a órbita ser imprevisível, sistemas caóticos demonstram regularidades estatísticas. Isso pois, em um mesmo sistema caótico, dados os mesmos parâmetros e distintas condições iniciais, seus histogramas, para quase todos os casos (exceto no caso, o qual possui probabilidade zero de existir se as condições iniciais forem aleatoriamente selecionadas, de a condição inicial cair em um ponto fixo instável) são iguais. Esse tipo de distribuição é conhecido como distribuição invariante. Para muitos sistemas caóticos, há apenas uma distribuição invariante. Assim, apesar de as órbitas desses sistemas serem distintas e imprevisíveis, em média elas se comportam da mesma maneira (FELDMAN, 2012) e, desse modo, uma análise por meio de probabilidades demonstra-se apta a lidar com tais sistemas.

Além dessa relação paradoxal de imprevisibilidade em nível micro (órbita) e previsibilidade em nível macro (regularidades estatísticas); do paradoxo entre aparente desordem da série temporal e ordem no espaço de fase, o estudo do caos apresenta ainda outro

paradoxo. Esse é descrito pela relação entre produtos (órbita) do sistema caótico e meio (equações determinísticas) empregado para tal produção.

A órbita de sistemas caóticos pode ser interpretada sob a visão de dinâmica simbólica, que segue a lógica de substituir números da órbita por símbolos. Por exemplo, dado que uma órbita varia entre 0 e 1, números menores do que 0,5 podem ser substituídos por L e, maiores ou iguais a esse valor, R. Os resultados obtidos são utilizados para análise do sistema. Com o emprego dessa ferramenta, é possível afirmar que a órbita simbólica é aleatória²⁴. A palavra “aleatória” é utilizada para descrever produtos sem padrão (FELDMAN, 2012).

Desse fato decorre que equações determinísticas que podem ser muito simples, podem gerar produtos aleatórios (FELDMAN, 2012). Assim, da simplicidade e do determinismo, o caos pode ser formado. Nesse contexto, afirma-se que:

[...] uma das novas realizações fundamentais que emergem do estudo dos sistemas dinâmicos é que a ordem e a desordem são frequentemente misturadas. Elas não são opostos mutuamente exclusivos. Atratores estranhos são quase a apoteose dessa idéia - eles são intrincadamente estruturas ordenadas que surgem de um sistema determinístico, no qual um sistema dinâmico se comporta caoticamente. (FELDMAN, 2012, p. 284).

Por fim, destaca-se que, com base na terminologia de sistemas, dadas diversas perspectivas dos últimos (como a complexidade e abertura dos mesmos), é facilitada a compreensão de auto-organização e emergência. Também se torna mais simples a identificação de diferenças, semelhanças e combinação entre auto-organização e emergência.

2.3.5.3 Auto-organização

Capra afirma que

[...] a auto-organização é a emergência espontânea de novas estruturas e de novas formas de comportamento em sistemas abertos, afastados do equilíbrio, caracterizados por laços de realimentação internos e descritos matematicamente por meio de equações não-lineares. (CAPRA, 2006, p. 80).

Outra definição de auto-organização também reconhece a dinamicidade (atrelada à emergência e à distância perante o equilíbrio) e a espontaneidade. Nessa definição, a “Auto-

²⁴Uma sequência aleatória é uma não comprimível, isto é, não há um algoritmo (um conjunto finito e bem definido de instruções para realizar uma tarefa) que gera a sequência, dado que o algoritmo deve ser mais curto do que essa última (FELDMAN, 2012).

organização é um processo dinâmico e adaptativo onde sistemas adquirem e mantêm estrutura eles mesmos, sem controle externo” (WOLF; HOLVOET, 2005, p. 7).

Ainda, Wolf e Holvoet (2005) destacam quatro características consideradas importantes (na literatura) sobre auto-organização. A primeira é o aumento de ordem (SHALIZI, 2001; HAKEN, 1998; WOLF; HOLVOET, 2005), que diz respeito à “organização” do termo “auto-organização”. Organização, em essência, é um aumento na ordem do comportamento do sistema, aumento esse que possibilita o sistema adquirir uma estrutura que pode ser espacial, temporal ou funcional (WOLF; HOLVOET, 2005).

A organização também é definida como um arranjo de partes selecionadas de modo a promover uma função específica (THE COMPLEXITY..., 2003), que indica que o sistema é confinado, dado seu espaço de fase, em um atrator; também implica que organização deve ser útil. Dado isso, é ressaltado que sistemas que apresentam muita ordem ou desordem são incapazes de apresentar comportamento útil (WOLF; HOLVOET, 2005). Assim, como sistemas situados no limite entre ordem e caos (KAUFFMAN, 1993; LANGTON, 1990) podem exibir comportamento mais organizado e flexível, a auto-organização deve encontrar um equilíbrio entre ausência de ordem e muita ordem (WOLF; HOLVOET, 2005).

A segunda característica de auto-organização é autonomia (SHALIZI, 2001; HAKEN, 1998; WOLF; HOLVOET, 2005), referente ao “auto” de “auto-organização”. Ela indica que o aumento de organização no sistema deve ser feito por ele próprio, sem que um agente externo ao mesmo tenha imposto ou dirigido aquele aumento. Isso não requer que o sistema seja isolado; ele pode receber fluxos de elementos externos ao sistema. Apenas é necessário que decisões sejam tomadas completamente de maneira interna ao sistema (WOLF; HOLVOET, 2005).

A terceira característica é adaptabilidade ou robustez em relação a mudanças (GOLDSTEIN, 1999; FOUKIA; HASSAS, 2003; WOLF; HOLVET, 2005). A robustez refere-se à manutenção de organização, atrelada à adaptabilidade do sistema perante mudanças. Assim, diante de mudanças e perturbações, a organização deve ser mantida de maneira autônoma (WOLF; HOLVOET, 2005), ao mesmo tempo em que o sistema pode ter sido influenciado a gerar uma tarefa distinta (MOSTEFAOUI ET AL., 2003).

Para ser adaptável, o sistema deve fazer seleção entre comportamentos e, ao mesmo tempo, considerar uma variedade desses (HEYLIGEN, 2002). Muita variedade (representada por atrator caótico) faz o sistema incontrolável. Por outro lado, o excesso de seleção de comportamento (representado por um atrator pontual) resulta em inflexibilidade. Assim, novamente é tomada a conclusão que o sistema auto-organizador deve situar-se no limite entre ordem e caos. Analisado o espaço de fase, isso pode ser representado, por exemplo, por um

sistema que possui um atrator caótico, balancear seu comportamento em uma parte específica do atrator (WOLF; HOLVOET, 2005).

Por fim, a última característica destacada de auto-organização é a dinamicidade (SHALIZI, 2001; HEYLIGEN, 2001; WOLF; HOLVOET, 2005), que diz respeito ao sistema ser distante do equilíbrio. Tal característica refere-se ao fato de que a auto-organização é um processo, isto é, é uma dinâmica (direcionada ao aumento de ordem). Essa característica se relaciona com a adaptabilidade (terceira característica), uma vez que essa última requer, em um contexto que muda rapidamente, comportamento dinâmico (WOLF; HOLVOET, 2005).

Como mudanças influenciam a estrutura organizada e, para a última ser mantida, devem existir constantes dinâmicas que lidam com tais mudanças, o sistema deve ser distante do equilíbrio para manter a estrutura. Sistemas distantes do equilíbrio são mais sensíveis a mudanças no meio e mais dinâmicos e capazes de reagir (WOLF; HOLVOET, 2005).

Sobre as propriedades de sistemas distantes do equilíbrio (importantes para a caracterização da auto-organização), destacam-se as descobertas de Ilya Prigogine. Também, a obra de Prigogine ataca a tendência à previsibilidade do PCN (BAUER, 1999) e coopera para transmutação da noção de “predição” (de certezas para probabilidades).

2.3.5.3.1 Estruturas dissipativas

Prigogine (2002) afirma que sistemas afastados do equilíbrio dissipam energia. Mesmo assim, em contradição ao vínculo apresentado entre entropia e desordem, tal dissipação é uma fonte de ordem (CAPRA, 2006). Para destacar tal relação (aparentemente paradoxal) entre ordem e dissipação, as estruturas de não-equilíbrio, formadas pela dissipação, são nomeadas de *estruturas dissipativas* (PRIGOGINE; STENGERS, 1984).

Tais estruturas existem apenas enquanto o sistema dissipa energia e mantém-se em interação com o meio exterior a si. Um exemplo de um sistema dissipativo é uma cidade. Em contraste com esse tipo de sistema, um cristal é um sistema de equilíbrio. O cristal pode permanecer isolado e, mesmo assim, mantém sua estrutura bem definida. A cidade também possui estrutura bem definida, todavia, a individualização e existência dessa depende das interações que ela efetua com seu meio. Disso decorre que, para a cidade, caso cortadas as relações que ela mantém com seu campo adjacente, a primeira desapareceria (PRIGOGINE, 1996; PRIGOGINE, 2002).

Assim, estruturas dissipativas se mantêm em estado estável, mesmo afastadas do equilíbrio (CAPRA, 2006). Isso é possível pois tais estruturas se nutrem de entropia negativa

do meio e, assim, compensam o aumento de entropia delas próprias (SCHRÖDINGER apud PRIGOGINE, 1996).

Além disso, uma análise de estabilidade permite melhor compreender como uma estrutura pode emergir em condições de não-equilíbrio. Sistemas próximos ou no equilíbrio amortecem efeitos de flutuações, que engendram estabilidade àqueles. Assim, esses se assemelham a um pêndulo estável, que retorna a um determinado estado após ser perturbado (PRIGOGINE, 1996).

Todavia, sistemas não apenas afastados do equilíbrio, mas longes desse último, não garantem que flutuações sejam amortecidas (PRIGOGINE, 1996). Em coerência com tal instabilidade, estruturas dissipativas podem evoluir. Isso por meio de aumento de fluxo de matéria e energia que passa através delas. Tal aumento possibilita que as estruturas experimentem novas instabilidades e se transformem em novas estruturas de complexidade crescente (CAPRA, 2006).

Mais especificamente, flutuações amplificadas por laços de realimentação positivos é o processo gerador de novas formas de organização. As equações não-lineares são mais adequadas (em relação às lineares) para descrever fenômenos não-lineares (CAPRA, 2006). Essas equações apresentam, muitas vezes, mais do que uma solução possível. Logo, o sistema se deparará com uma situação em que deve “escolher” (decisão essa determinada pelas flutuações) uma dentre duas ou mais trajetórias possíveis (dado que existem flutuações que superam um ponto crítico; caso fosse suprimida toda flutuação, o sistema se manteria na ramificação instável). Esses pontos são chamados de *pontos de bifurcação*. Em geral, existe uma sucessão de bifurcações, como demonstrado pela figura 40 (PRIGOGINE, 2002; PRIGOGINE, 1996).

Figura 40 – Bifurcações sucessivas em um sistema de não-equilíbrio

Fonte: Prigogine (1996, p. 73).

Matematicamente, pontos de bifurcação marcam mudanças súbitas no retrato de fase²⁵ do sistema. Fisicamente, eles correspondem a pontos de instabilidade, nos quais o sistema muda abruptamente e novas formas de ordem aparecem de repente. (CAPRA, 2006, p. 117).

Ainda,

Este esquema [figura 40] faz coexistirem zonas determinísticas (entre as bifurcações) e pontos de comportamento probabilista (os pontos de bifurcação). Imaginemos um sistema que tivesse progressivamente afastado do equilíbrio ao longo do tempo. Sua evolução teria um elemento histórico. O fato de que observamos o sistema no estado d2, por exemplo, implica que ele atravessou os estados b1 e c1. (PRIGOGINE, 1996, p. 73).

Assim, a predição do futuro combina determinismo com probabilidade. A parte determinística se remete a todo o esquema, exceto aos pontos de bifurcação. Já a probabilística se refere ao modo de efetuar escolha entre as possíveis soluções no ponto de bifurcação. Pequenas variações conduzem tais escolhas, isto é, nos pontos de bifurcação, o sistema é extremamente sensível perante variações no presente que determinam o seu futuro (PRIGOGINE, 2002; PRIGOGINE, 1996).

Os pontos de bifurcação são pontos na evolução do sistema (CAPRA, 2006), ou seja, as escolhas efetuadas naqueles geram novas formas de ordem (PRIGOGINE, 1996). Assim,

²⁵Retrato de fase é uma figura dinâmica de todo o sistema, gerada pela identificação de atratores, bacias de atração e classificação desses de acordo com suas características topológicas (CAPRA, 2006).

sistemas podem obter novas características e se auto-organizarem (estimulados pelo meio) (PRIGOGINE, 1996; PRIGOGINE, 2002; CAPRA, 2006).

Como expresso por Capra (2006), a auto-organização é uma emergência. Assim, a compreensão da última possibilita melhor captar aspectos da auto-organização. Ainda, o estudo sobre emergência engendra continuidade ao ataque da tendência à previsibilidade do PCN.

2.3.5.4 Emergência

O fenômeno da ascensão, em um sistema, de emergentes (que podem ser propriedades, comportamento, estrutura, padrão, etc.), que surgem dinamicamente da interação entre as partes no nível micro (nível esse que considera o sistema do ponto de vista das entidades individuais, componentes do sistema), dado que tais emergentes são coerentes no nível macro (nível que considera o sistema como um todo) e são novos com relação às partes individuais do sistema, é chamado de emergência (WOLF; HOLVOET, 2005).

O efeito micro-macro é a característica mais importante da emergência. Tal efeito descreve que emergentes, situados em nível macro, são gerados pela interação entre os componentes do sistema²⁶ em nível micro (WOLF; HOLVOET, 2005; HOLLAND, 1998; CRUTCHFIELD, 1994).

Tais componentes não apresentam representação explícita do comportamento em nível macro. Assim, os emergentes não são redutíveis aos componentes do sistema, desse modo, a emergência é um fenômeno, em essência, não redutível (WOLF; HOLVOET, 2005). Ou seja, emergentes não são previsíveis ou redutíveis dos componentes (GOLDSTEIN, 1999).

Apesar do comportamento coletivo não ser previsível por meio de análise dos componentes isolados, aquele está, de maneira implícita, contido no comportamento dos componentes, caso esses sejam estudados no contexto em que foram encontrados. Isso pois a interação entre os componentes é o que gera os emergentes (WOLF; HOLVOET, 2005).

Ainda, a emergência apresenta importante característica de correlação consistente entre as partes, característica essa chamada de coerência. Essa última pode ser vista como uma ação que abrange e correlaciona os componentes, separados em nível inferior, em uma unidade em nível superior. São as correlações entre as partes que possibilitam a existência de um todo coerente. Já a consistência, propriedade da coerência, trata da tendência dos emergentes a

²⁶Assim, as partes do sistema devem interagir (WOLF; HOLVOET, 2005; GOLDSTEIN, 1999).

manter algum senso de identidade com o passar do tempo, isto é, os emergentes se comportam como um padrão persistente (WOLF; HOLVOET, 2005; ODELL, 2002).

Todavia, com a ascensão de novos atratores (isto é, bifurcação), novos emergentes surgem. Assim, é possível a mutabilidade qualitativa dos emergentes. Atrelado ao aspecto mutável, o próprio fenômeno emergente (e não apenas a mutabilidade das características que ele produz) não é um todo pré-formado, mas sim ascendente (GOLDSTEIN, 1999) por meio das interações entre os componentes do sistema (WOLF; HOLVOET, 2005). Assim, a característica de dinamicidade caracteriza a origem (em nível micro, tomadas interações dos componentes como agentes individuais) e mutabilidade (em nível macro, considerado o arranjo de componentes) da emergência.

A interação (entre os componentes) descrita não é apenas necessária, como também é a única forma de emergentes serem formados. Dito de outra forma, apenas mecanismos locais são utilizados para influenciar o comportamento global. Assim, não há controle central, ou seja, nenhum componente dirige o comportamento em nível macro. O todo não é diretamente controlável, as partes sim; o controle é descentralizado. Em coerência, os componentes no nível micro não possuem representação explícita do comportamento global (novidade radical) (WOLF; HOLVOET, 2005; HEYLIGEN, 2002).

A relação entre nível micro e macro não é unidirecional, isto é, não são apenas interações em nível micro que influenciam (mais especificamente, geram) emergentes (situados em nível macro), mas também a estrutura dos emergentes influencia as partes. Desse modo, ações situadas no nível micro geram aspectos para o nível macro e esses últimos apresentam efeitos causais em seus próprios criadores, que são os componentes situados no nível micro (WOLF; HOLVOET, 2005).

Como nenhuma parte dirige o todo, não há uma unidade única que é um único ponto de falha. Congruente com isso, é possível a substituição de componentes e simultânea manutenção da estrutura emergente (WOLF; HOLVOET, 2005; HEYLIGEN, 2002). Assim, “emergentes são relativamente insensíveis a perturbações e erros” (WOLF; HOLVOET, 2005, p. 5), dito de outra forma, emergentes são robustos em relação à ataques e danos.

A robustez não significa que emergentes são imunes a falhas e danos. Ela descreve que, “Com o aumento de dano, a performance cairá, todavia a degradação será ‘graciosa’: a qualidade do produto decairá gradualmente, sem perda súbita de função” (WOLF; HOLVOET, 2005, p. 5). A última característica do fenômeno de emergência é a ostensividade, isto é, emergentes são ostensivos, eles se mostram (GOLDSTEIN, 1999).

A emergência e a auto-organização demonstram similaridade e dissimilaridades. Ainda, caso coexistam em um sistema, esse apresenta características específicas de tal combinação.

2.3.5.5 Diferenças e semelhanças entre auto-organização e emergência

A auto-organização pode existir sem emergência e vice-versa. Um sistema apresenta auto-organização e ausência de emergência caso ele seja adaptável perante mudanças, demonstre aumento de ordem de maneira autônoma e possua organização marcada por robustez. Ainda, o mesmo sistema não pode possuir efeito micro-macro, novidade radical (em relação aos componentes individuais do sistema), flexibilidade em relação aos componentes e controle descentralizado (propriedades específicas da emergência e não da auto-organização) (WOLF; HOLVOET, 2005).

Por exemplo, um sistema que demonstre auto-organização pode ser um sistema cujos (todos os) componentes possuem um modelo (plano) do comportamento macro a ser atingido (WOLF; HOLVOET, 2005). Isso destrói a propriedade de novidade radical e, consequentemente, impossibilita que emergentes apresentem esse traço que os caracteriza (GOLDSTEIN, 1999; WOLF; HOLVOET, 2005). Assim, formalmente, não há novidade radical e emergentes.

Ainda, caso o sistema possua um líder de importância essencial, ou todos os componentes sejam peças necessárias para o funcionamento do sistema, a remoção ou do líder ou de qualquer componente (no segundo caso) destrói o funcionamento do sistema. Esse fato não satisfaz a necessidade de flexibilidade em relação aos componentes que a emergência requer, assim, desse outro modo, é dito que não há emergência. Por fim, no caso da existência do líder, dado que ele dirige o comportamento global, é afirmado que não há controle descentralizado, mas sim centralizado (WOLF; HOLVOET, 2005).

Da possibilidade de existência de auto-organização e inexistência de emergência em um mesmo sistema conclui-se que a primeira não é, necessariamente, uma emergência. Assim, é enfraquecido o trecho que afirmava o contrário dessa conclusão na definição de auto-organização de Capra (2006). A ilustração de um sistema que possui auto-organização, mas não emergência, é dada pela figura 41.

Figura 41 – Auto-organização sem emergência

Fonte: Adaptado de Wolf e Holvoet (2005, p. 10).

Como mencionado, também é possível um sistema apresentar emergência e não demonstrar auto-organização. Isso pois, para que um sistema demonstre emergência, não é necessário que ele possua aumento de ordem (considerada também a finalidade dessa para a execução de função específica), ausência de controle externo e adaptabilidade. Como todas essas são propriedades essenciais da auto-organização, é possível a existência de sistemas que apresentem emergência e auto-organização, não (WOLF; HOLVOET, 2005).

Como exemplo toma-se um material de gás que apresenta volume no espaço. O volume é um emergente, oriundo da interação (atração e repulsão) das partículas. Também assume-se que a complexidade estatística do gás não muda (WOLF; HOLVOET, 2005), ou seja, sua medida de organização não é alterada (SHALIZI, 2001). Nesse cenário, o gás demonstra emergência, mas não auto-organização.

Também, para a existência da auto-organização, essa última deve efetuar-se para a promoção de uma função específica. Assim, é possível um sistema apresentar caos (dado que essa propriedade emergiu de interações entre os componentes do sistema) e não se organizar para promover uma função específica (WOLF; HOLVOET, 2005).

Figura 42 – Sistema que demonstre emergência e ausência de auto-organização

Fonte: Adaptado de Wolf e Holvoet (2005, p. 10).

Desse modo, das quatro características destacadas de auto-organização, apenas a dinamicidade coincide com as características de emergência. Mais especificamente, ambos

(emergência e auto-organização) são processos dinâmicos. Outra semelhança entre os dois fenômenos é que demonstram robustez, todavia são robustos em relação a aspectos distintos: os emergentes o são perante falhas nos componentes e a auto-organização é sobre a manutenção de organização perante mudanças e perturbações (WOLF; HOLVOET, 2005).

2.3.5.6 Combinação de emergência e auto-organização

Apesar de emergência e auto-organização poderem existir isolados um do outro, na maioria dos sistemas considerados em literatura, há ocorrência de emergência e auto-organização de maneira conjunta. Pesquisas sobre sistemas adaptativos complexos focam nesse tipo de sistema (WOLF; HOLVOET, 2005), dado que esses são sistemas compostos por muitos elementos que se adaptam ou aprendem enquanto interagem (HOLLAND, 2006). Também, segundo Mitchell (2009), a própria existência (não trivial) de auto-organização e emergência é o que define um sistema complexo.

Ainda, a não-linearidade, apesar de (por alguns autores) ser atrelada ou à emergência ou à auto-organização, é, provavelmente, de maneira mais específica, atrelada à combinação de ambos os fenômenos. Isso é expresso em: “Um sistema que não possui ordem a priori e no qual a emergência deve ser auto-organizadora, requer o princípio de ‘pequena causa, grande efeito’, e deve ter um intenso foco em interatividade não-linear” (WOLF; HOLVOET, 2005, p. 12).

Figura 43 – Combinação de auto-organização e emergência

Fonte: Adaptado de Wolf e Holvoet (2005, p. 10).

2.3.6 As fragilidades do reducionismo e da predição como certezas

Assim como a teoria de redes, o estudo de sistemas capta características de elementos e fenômenos cuja compreensão não é possível sem a consideração das conexões que descrevem os elementos (ou fenômenos) estudados. As redes possibilitam interpretar robustez, propagações, controle e similaridades entre sistemas fundamentadas, essencialmente, nas

estruturas conectivas daquelas. Em coerência, Bertalanffy (1950) afirma que existem leis gerais de sistemas, válidas para certos sistemas, cuja efetividade independe das particularidades desses. Desse modo, se ignorados elos entre elementos, aspectos do todo são incompreensíveis.

Sistemas complexos aprofundam a importância da análise de conexão entre elementos. Nesses sistemas, é descrita com maior precisão a relação de conexões (em nível micro) gerarem características (em nível macro) e essas últimas, se visualizadas como emergentes, também podem ser descritas por conexões, dada a coerência que os componentes demonstram em emergentes. Ou seja, as próprias propriedades oriundas de elos entre as partes podem ser descritas, sob determinada dimensão, como elementos em rede (coerência).

Emergentes e sistemas complexos colaboram não apenas para atacar o reducionismo, valorizado pelo PCN, mas também a previsibilidade como certezas, e não como probabilidades, vinculada ao mesmo paradigma. Todavia, é possível a tentativa de fragilizar o último ataque descrito: como o comportamento coletivo está inserido nas partes e, ao mesmo tempo, afirma-se que o primeiro não é dedutível das últimas, é possível concluir que a emergência é mero reconhecimento epistêmico da inadequação de qualquer teoria atual para efetuar tal derivação de propriedades macro de seus determinantes situados em nível micro. Assim, é aparentemente certo afirmar que emergência possui caráter provisório (GOLDSTEIN, 1999).

Todavia, dada a linha de raciocínio de Newman (1996), toma-se um atrator caótico como exemplo de um fenômeno emergente. Nesse caso, teoremas matemáticos comprovam que tal fenômeno emergente é intrinsecamente imprevisível, que quebra a afirmação de caráter provisório de emergência (GOLDSTEIN, 1999). Goldstein (1999), como afirma que o fato de um sistema demonstrar não-linearidade é um requisito necessário para ele apresentar emergência, estende a defesa da emergência (para além do caso de atratores caóticos) e não previsibilidade atrelada aos sistemas complexos ao afirmar que:

Na teoria da complexidade, há uma limitação embutida à previsibilidade tendo a ver com a não-linearidade não analiticamente solucionável de sistemas complexos, de tal forma que haverá diferenças nos fenômenos emergentes a cada volta de sua trajetória evolutiva. Como efeito, parece não haver fim para o surgimento de emergentes. Portanto, a imprevisibilidade dos emergentes permanecerá sempre um passo à frente do terreno ganho pela previsão e, consequentemente, o surgimento permanecerá sempre um passo à frente do argumento da provisionalidade. Como resultado, parece que a emergência está agora aqui para ficar. (GOLDSTEIN, 1999, p. 60).

Goldstein (1999) ainda aprofunda seu ataque à previsibilidade, fundamentado novamente na não-linearidade matemática, atrelada a sistemas complexos:

Com a dinâmica não-linear e a teoria da complexidade, o reducionismo *hard-core* da variedade monista de nível ontológico finalmente chegou a processos naturais que não se renderão ao ataque reducionista por causa da própria matemática de tais processos. A matemática não-linear desses sistemas complexos impede a previsão exata de estados futuros, uma vez que as equações que governam tais sistemas não são analiticamente solucionáveis. (GOLDSTEIN, 1999, p. 61-62).

O ataque efetuado à previsibilidade como certezas é continuado pela perspectiva das estruturas dissipativas. Essas, em pontos de bifurcação, demonstram comportamento probabilista (PRIGOGINE, 1996).

Ainda, esse ataque pode expandir-se por análise de sistemas dinâmicos complexos. Isso pois a gigantesca quantidade de componentes desses sistemas torna a emergência necessária. Além disso, o estudo dos mesmos sistemas torna necessária a revisão da controlabilidade (também atrelada ao PCN). Isso ocorre dada a gigantesca complexidade que os marca, que torna impossível impor ordem a eles; eles devem se auto-organizar (WOLF; HOLVOET, 2005). Assim, em sistemas dinâmicos complexos, é impossível impor ordem externa e, por causa da emergência, é inerente ao sistema a impossibilidade de previsão exata de seu comportamento futuro.

Para outro ataque à previsibilidade como certezas, são destacados os sistemas caóticos. O estudo desses sistemas indica que, por apresentarem DSCI, eles nunca são previsíveis a longo prazo. Ainda, dado que, em média, as órbitas de sistemas idênticos se comportam igual (FELDMAN, 2012), a análise por meio de probabilidades demonstra-se uma abordagem coerente com o comportamento desse tipo de sistema.

Dados todos os fatos apresentados, é constatado que uma nova noção de previsibilidade ascende. Essa não é descrita por certezas, mas sim por probabilidades. Ainda, é enfraquecida a tendência à quantificação, vinculada ao PCN (BAUER, 1999), e validada a análise qualitativa. Sobre a última, Capra (2006, p. 117) afirma que “a análise qualitativa de um sistema dinâmico consiste em identificar os atratores e bacias de atração do sistema, e em classificá-los de acordo com suas características topológicas”.

Em suma, os ataques descritos às propriedades vinculadas ao PCN implicam na valorização da interconectividade, da predição por probabilidades e dos pensamentos holístico e não-linear. Todas essas características valorizadas vinculam-se ao PVMH (CAPRA; LUISI 2014; CAPRA, 2006).

Além do exposto, fragilidades da previsibilidade como certezas e do reducionismo podem ser vislumbradas em outro tema. Elas manifestam-se em descobertas efetuadas justamente na área do saber que demonstrou grande importância para coroar o PCN: a física.

2.3.6.1 As conexões da física

Os cientistas, atualmente, descrevem o Universo em termos de duas teorias (parciais) fundamentais: a mecânica quântica e a teoria da relatividade geral. Essa última descreve a força da gravidade e a estrutura em nível de macroescala do Universo. Essa estrutura abrange desde alguns quilômetros até muitos milhões de quilômetros. Já a mecânica quântica relaciona-se a fenômenos que ocorrem em escalas minúsculas, como um milionésimo de milionésimo de centímetro (HAWKING, 2004).

2.3.6.1.1 Nível micro

No nível subatômico, a matéria não existe com certeza em locais definidos. Ao invés disso, ela demonstra “tendências para existir”. Da mesma forma, eventos atômicos não ocorrem em tempos definidos, mas mostram “tendências para ocorrer”. Na teoria quântica, tais tendências são expressas em probabilidades. “Todas as leis da física atômica são expressas em função dessas probabilidades. Nunca podemos prever com certeza a ocorrência de um evento atômico; podemos apenas prever a probabilidade de sua ocorrência” (CAPRA; LUISI, 2014, p. 103).

Tais descobertas sobre o aspecto dual da matéria e do papel da probabilidade demoliram a noção de objetos sólidos. No nível subatômico, os objetos materiais, vistos como sólidos pelo empirismo e física clássica, são dissolvidos em padrões de probabilidade. Ainda, tais padrões não representam probabilidades de elementos, mas sim de interconexões. Congruente com esse fato, partículas subatômicas não possuem significado como entidades isoladas: podem ser compreendidas apenas como interconexões ou correlações (CAPRA; LUISI, 2014). Nas palavras de Bohr (1934, p. 57): “Partículas materiais isoladas são abstrações, sendo suas propriedades definíveis e observáveis apenas por meio de sua interação com outros sistemas”.

Assim, partículas subatômicas não são elementos, mas sim interconexões entre elementos. Tais interconexões são interconexões com outros elementos, assim sucessivamente. Desse modo, a física revela a unicidade do universo e, simultaneamente, demonstra que é impossível decompor o mundo em microunidades (as menores possíveis) que existem

independentemente de outras. “À medida que penetramos na matéria, não percebemos nenhum bloco de construção isolado, mas, em vez disso, uma complexa teia de relações entre as várias partes de um todo unificado” (CAPRA; LUISI, 2014, p. 104). Segundo Heisenberg (1958, p. 107): “O mundo aparece, dessa maneira, como um complicado tecido de eventos, no qual conexões de diferentes tipos alteram-se ou se sobrepõem ou se combinam e, por meio disso, determinam a textura do todo”.

Assim, como no nível de partículas a noção de partes separadas colapsa, tais partículas subatômicas e, conseqüentemente, todas as partes do universo, não podem ser compreendidas como elementos isolados. Todo esse conjunto deve ser definido por meio de suas inter-relações (CAPRA; LUISI, 2014).

Ainda, direcionando o foco para a dinâmica nesse nível micro, diferente da mecânica clássica de Newton, a mecânica quântica não é determinística. Logo, dois sistemas quânticos preparados da mesma maneira podem apresentar distintos resultados. Ao ser combinado com a DSCI, tem-se que “a aleatoriedade no nível quântico - átomos ou pequenas moléculas - pode ser amplificada pela dependência sensível das condições iniciais, levando a fenômenos cotidianos que realmente são eventos fortuitos” (FELDMAN, 2012, p. 147).

2.3.6.1.2 Macro-escala

Além dessas conexões subatômicas, é descoberta outra conexão que quebra bases do pensamento newtoniano. Essa conexão é entre o espaço e o tempo. Sua descoberta foi iniciada em uma tentativa de Einstein de unificar (conectar e harmonizar distintas partes) da física (BAUER, 1999).

A trajetória dessa descoberta é iniciada pela constatação de Newton de que o espaço não é absoluto. Diferente do espaço, o tempo era visto como absoluto. Ainda, tempo e espaço eram considerados completamente separados um do outro (HAWKING, 2004).

Tais percepções e o produto dessas podem ser exemplificados. Ao enviar um impulso de luz de um local para outro, como o tempo é absoluto, distintos observadores concordarão entre si quanto ao tempo de duração da viagem da luz. Todavia, como o espaço não é absoluto, os mesmos observadores discordarão do espaço percorrido pela luz. Assim, como $v = \Delta S / \Delta t$, distintos observadores mensurarão distintas velocidades para a luz (HAWKING, 2004).

Todavia, em 1887, Albert Michelson e Edward Morley compararam a velocidade da luz na direção do movimento da Terra com a velocidade da luz medida na direção perpendicular a

tal movimento. Ao invés de as velocidades obtidas por ambas as medições serem distintas entre si, elas demonstraram o mesmo valor (HAWKING, 2004).

Einstein formulou uma teoria que explicava tal fato. Essa teoria foi chamada de teoria da relatividade (inicialmente essa teoria desprezava o efeito da gravitação e era chamada teoria da relatividade restrita). Nessa, apesar de o espaço ainda ser visto como não absoluto (assim como na visão newtoniana), todos os observadores devem concordar com a velocidade da luz (diferente do que ocorria na teoria de Newton) (HAWKING, 2004).

Disso decorre que o tempo também não deve ser unânime. Assim, “a teoria da relatividade acabou com a ideia de tempo absoluto!” Ainda, a teoria da relatividade obriga a alterar as concepções de espaço e tempo: esses não mais são considerados como separados ou independentes (HAWKING, 2004, p. 30).

A teoria da relatividade restrita obteve grande sucesso na explicação de que a velocidade da luz parece a mesma para todos os observadores. Também obteve grande sucesso para descrever o que acontece quando objetos se movem a velocidades próximas à da luz. Todavia, a teoria da relatividade restrita demonstrava uma limitação. Tal teoria era inconsistente com a teoria da gravitação de Newton. Nessa, objetos se atraem com força que depende da distância que os separa e, se um dos objetos se deslocasse, a força exercida sobre o outro mudaria instantaneamente. Logo, nessa percepção, os efeitos gravitacionais deslocam-se com velocidade infinita. Isso contradizia a teoria da relatividade restrita, que apontava que a velocidade da luz (que não é infinita) é a máxima possível (HAWKING, 2004).

Em 1915, visando atacar essa inconsistência, Einstein formulou a teoria da relatividade geral. Essa indica que a gravidade não é uma força idêntica às outras, mas sim uma consequência de o espaço-tempo não ser plano, mas sim curvo. Essa curvatura ou “deformação” é causada pela distribuição de massa e energia (HAWKING, 2004).

Desse modo, a visão (predominante até a ascensão da teoria da relatividade geral) de que tempo e espaço eram um palco fixo onde os acontecimentos ocorriam e que tal palco não era afetado por tais acontecimentos é quebrada. Na teoria da relatividade geral, quando uma força atua ou um corpo se move, a curvatura do espaço-tempo é afetada. Ainda, a estrutura do espaço-tempo afeta a força e o movimento dos corpos. Assim, o “espaço e o tempo não só afetam como são afetados por tudo o que acontece no Universo” (HAWKING, 2004, p. 44).

2.3.6.1.3 Conclusões sobre nível micro e macro

A natureza, em nível micro e macro, comporta-se de maneira não correspondente ao considerado como aceitável pelo PCN. Essa discrepância marca o surgimento de um novo paradigma (BAUER, 1999). A gravidade dessa discrepância intensifica-se por ela manifestar-se na física, área de grande importância para a coroação daquele paradigma (CAPRA; LUISI, 2014). Ainda, uma das descobertas (a não separação entre tempo e espaço) que caracteriza essa discrepância rompe, especificamente, um dos fundamentos propostos pelo grande nome daquela coroação (Newton). Assim, palco (física) e personagem (Newton), que antes representavam a consolidação do PCN, têm suas fragilidades expostas.

Tais fragilidades dizem respeito à previsibilidade como certezas e ao reducionismo. Além dessas propriedades vinculadas ao PCN, a valorização da competição também sofre duros golpes, expressos, em grande parte, pelo poder da cooperação, vinculada ao PVMH. Teorias de redes e de sistemas complexos são úteis para compreender diversos aspectos que demonstram tal poder.

2.4 Cooperação

A dinâmica natural da vida apontava que a evolução de espécies era fundamentada na competição (MITCHELL, 2009). Ainda, vantagens que comportamentos não cooperativos proporcionam a curto prazo mostravam-se como um grande atravanque para que a cooperação se desenvolva (AXELROD, 1984). Todavia, novas descobertas escancararam fragilidades e incompletudes daquelas constatações.

2.4.1 A teoria da simbiogênese

Charles Darwin leu o Ensaio sobre o Princípio da População (1798), de Malthus. Fundamentado nessa leitura, o primeiro notou que o crescimento populacional leva à competição (entre os componentes dessa população) por comida e outros recursos. Darwin também leu A Riqueza das Nações (1776), de Adam Smith. Esse livro introduziu a Darwin a ideia de mão invisível em economia, que descrevia que um conjunto de indivíduos, agindo de maneira egoísta, produzia máximo benefício para toda a comunidade (MITCHELL, 2009).

Ainda, Darwin absorveu diversas ideias do livro Princípios da Geologia (1830), de Charles Lyell's. Nesse último, era demonstrado que características geológicas (como montanhas e *cânions*) emergem mais de pequenas mudanças (como efeito de erosão e ação do vento) do que de eventos de proporções bíblicas. Essa é uma visão gradualista: eventos

pequenos, com o tempo, podem gerar grandiosos efeitos. Já por observações próprias, Darwin notou a gigantesca variabilidade entre distintos seres vivos, isto é, a existência de grande gama de seres que diferem uns dos outros. Também por meio de observações próprias, Darwin ainda notou a aparente adaptação de espécies aos seus respectivos ambientes (MITCHELL, 2009).

Combinando todas essas ideias, somadas a outras, Darwin formulou uma teoria coerente. Nessa, indivíduos têm um número de prole maior do que pode sobreviver, dados os recursos alimentares limitados. Tal prole não é uma cópia exata dos pais, mas sim contém uma quantidade de variação aleatória. As características que engendram sobrevivência e reprodução da prole são passadas para gerações futuras e, assim, tais características se espalham pela população. Logo, dado todo esse cenário, de maneira muito gradual, por meio da reprodução, somada às lutas individuais por recursos, novas espécies são formadas com características (idealmente) adaptadas aos seus respectivos ambientes. Esse processo é nomeado por Darwin de evolução por seleção natural (MITCHELL, 2009). Fundamentado nesse processo, diz-se que a “Competição é [...] a peça central da evolução” (MITCHELL, 2009, p. 77).

Apesar do grande sucesso, as ideias de Darwin apresentavam duas grandes lacunas de explicação: como os traços eram passados de pais para prole e como a variação nesses traços ocorre. Posteriormente a Darwin, Gregory Mendel deduziu que existiam “fatores” que determinam características de seres estudados, fatores esses passados de pais para prole. Tais fatores correspondem aproximadamente ao que hoje é chamado de genes (MITCHELL, 2009). As ideias de Darwin, combinadas com as de Mendel, resultaram no neodarwinismo. De acordo com esse, toda variação evolutiva é resultado de mudança aleatória, seguida por seleção natural (CAPRA, 2006). Essa variação aleatória foi reforçada pela descoberta do funcionamento dos genes (MARGULIS, 2001).

Todavia, os mesmos genes possibilitaram a descoberta de outra teoria, fundamentada em dinâmica distinta da darwiniana. A história dessa descoberta inicia-se pelo fato de que, até determinado período, era tomado como verdade que, para células eucariontes²⁷, genes situavam-se apenas no núcleo dessas. Entretanto, posteriormente, foi constatado que genes, externos ao núcleo, estavam profundamente implicados no processo de respiração de oxigênio (mitocôndrias²⁸) e na coloração de folhas (cloroplastos²⁹). Ou seja, os genes não estão apenas no núcleo (MARGULIS, 2001).

²⁷Células que possuem núcleo organizado, cujo material genético fica separado do citoplasma através da membrana nuclear.

²⁸Responsáveis pela respiração celular nas células eucariontes; existentes apenas nesse tipo de célula, tanto nas animais quanto nas vegetais.

²⁹Responsáveis pela fotossíntese nas células eucariontes vegetais; existentes apenas nesse tipo de célula.

Esses genes externos ao núcleo foram estudados. Foi observado que o DNA de mitocôndrias e plastídios (o cloroplasto é um plastídio) é distinto do DNA núcleo da célula em que habitam. Ainda sobre mitocôndrias e plastídios, foi averiguado que sequências de DNA desses são extremamente semelhantes às de bactérias que vivem de forma independente à célula em que se situam tais organelas³⁰. Mais especificamente, o DNA de plastídios de células de algas é muito mais parecido com o de cianobactérias livres do que com o da própria célula que tais plastídios habitam. Embasado em todos esses fatos, foi aceita a teoria de origem Simbiótica de mitocôndrias e plastídios: tais organelas foram originadas por processo simbiótico (MARGULIS, 2001).

Simbiose o sistema em que membros de diferentes espécies vivem em contato físico. Caso ocorra simbiose permanente ou de longo prazo e essa leve à origem de novos tecidos, órgãos, organismos ou espécies, tal fenômeno é chamado de simbiogênese. Assim, a simbiogênese um modo de variação evolutiva não fundamentada em mudança aleatória ou competição, mas sim em cooperação entre distintos organismos. Desse modo, a simbiogênese contrapõe a base darwiniana embasada na competição e demonstra que a inovação pode ocorrer fundamentada em cooperação (MARGULIS, 2001).

Apesar de a origem de mitocôndrias e plastídios ter ocorrido por processo simbiótico, aquela não se mostrou amistosa desde seu início. Aquela origem foi iniciada por uma ação competitiva e agressiva: células tentaram fagocitar bactérias. Todavia, tal ação foi transmutada para cooperação benéfica para ambos os agentes (células e bactérias). Para as bactérias, posteriormente transformadas em organelas, as vantagens se fundamentam no fato de que, em comparação com o ambiente extracelular, que é sempre exposto a esgotamento de alimento, desidratação, envenenamento (dentre outras tragédias), qualquer meio intracelular é rico em nutrientes e aquoso. Para as células, a vantagem é a utilidade da mitocôndria, que faz com que a célula deixe de ser anaeróbia (incapaz de utilizar oxigênio para respiração) e torne-se aeróbia (capaz de utilizar o oxigênio para respiração e dependente do oxigênio). Na respiração anaeróbia, uma molécula de glicose produz 2 ATPs (sigla derivada de adenosina trifosfato, substância armazenadora de energia), na respiração aeróbia, cerca de 38 ATPs. Por fim, o cloroplasto permitiu o surgimento de plantas fotossintetizantes (MARGULIS, 2001).

Outros exemplos reais demonstram a eficácia e efetividade da cooperação Simbiótica. Nos Vales Desertos da Terra de Vitória, na Antártida, uma comunidade Simbiótica de fungos,

³⁰Organelas são pequenas estruturas citoplasmáticas (isto é, inseridas no citoplasma) com características e funções próprias. Funcionam como pequenos órgãos (fato que origina o termo “organela”) dentro da célula. Por exemplo, mitocôndrias e cloroplastos são organelas.

algas e bactérias sobrevive, somando, em massa de matéria viva, 13×10^{13} de toneladas, biomassa superior à de toda a vida nos oceanos. Também, plantas com micorrizas (associações Simbióticas entre fungos e raízes de plantas) são selecionadas naturalmente: em solos pobres em nutrientes, essas plantas, quando comparadas com as que não possuem micorrizas, são mais pesadas e detêm maiores depósitos de nitrogênio e fosfato. Tal associação Simbiótica demonstra caráter universal: 90% das plantas possuem micorrizas simbiontes; mais de 80% das plantas morrem se perdem tal elo aos fungos (MARGULIS, 2001).

Além do conflito entre competição e cooperação, há outra discrepância entre ideias darwinianas e simbióticas. Distinto do que apontam as primeiras, na simbiogênese, “os organismos adquirem não traços, mas outros organismos inteiros, e, é claro, seus conjuntos de genes completos!” (MARGULIS, 2001, p. 16). Assim, quando os “pais simbióticos” das incorporações são parentes distantes, os resultados de tais incorporações são formidavelmente distintos de ambos os pais. Consequentemente, como geradora de inovação evolutiva, a simbiogênese é muito mais eficiente do que o processo embasado em recombinação aleatória de genes da teoria darwinista (MARGULIS, 2001).

Assim, a teoria da simbiogênese fundamenta-se em fatos e lógicas distintos da teoria neodarwiniana e, simultaneamente, demonstra vantagens perante a última. A primeira teoria não cancela a segunda, mas sim possibilita nova percepção sobre fulcro da inovação e sobrevivência. Fulcro esse não competitivo, mas sim cooperativo.

2.4.2 Teoria dos jogos

Aprofundando o estudo da biologia, é identificado um aparente paradoxo. Esse se fundamenta em: seleção natural implica que a competição é uma das bases da sobrevivência e evolução, todavia, simultaneamente, “genomas, células, organismos multicelulares, insetos sociais e a sociedade humana são todos embasados em cooperação” (NOWAK, 2006b, p. 1560).

Ainda sobre a competição, Hobbes (1962) afirmava que essa última entre indivíduos, juntamente com o egoísmo criava vida solitária, pobre, curta e bruta. Também de acordo com Hobbes, para agregar os homens em estado social, era necessária a existência de um Estado forte (PRADO, 1999). Ao tentar provar que essa ideia era falsa, Axelrod buscou demonstrar que a cooperação pode emergir espontaneamente entre indivíduos egoístas (PRADO, 1999). Ao fazer isso, Axelrod colaborou também para solucionar aquele aparente paradoxo da biologia. Isso pois seleção natural implica competição, assim, para aquela não se opor à cooperação (ubíqua no mundo), devem existir mecanismos específicos em funcionamento

(NOWAK, 2006b). Axelrod (1984) identificou e caracterizou um desses mecanismos que explica a emergência da cooperação.

O estudo desse mecanismo inicia-se pela constatação de que a cooperação possui um problema fundamental: existência de cenários em que a busca de interesse próprio na interação entre agentes acarreta, para esses, um resultado ruim. Há uma representação para tal cenário (AXELROD, 1984). Essa é uma representação abstrata de situações da vida real. Representações com tais propriedades são modelos da teoria dos jogos (OSBORNE; RUBINSTEIN, 1994). “A teoria dos jogos pode ser definida como o estudo de modelos matemáticos de conflito e cooperação entre tomadores de decisão inteligentes e racionais”. Tal teoria providencia técnicas matemáticas para analisar situações nas quais dois ou mais indivíduos tomam decisões que influenciam o bem-estar uns dos outros (MYERSON, 1991, p. 1).

Muito do trabalho inicial feito sobre teoria dos jogos foi realizado durante a Segunda Guerra Mundial, em Princeton, onde muitos físicos teóricos estavam trabalhando também. Tomada uma ampla perspectiva da história intelectual, tal proximidade não aparenta ser mera coincidência. Muitos avanços das ciências da natureza, no século XX, geraram o dilema nuclear, que ameaçou a sobrevivência de nossa civilização. Assim, era aparente que pessoas mais aprenderam sobre explosões de materiais radioativos do que a criar sistemas sociais que moderam comportamento humano em conflito. Logo, pode ser natural esperar que avanços em campos de ciências sociais providenciem a compreensão necessária para equilibrar-se com os grandes avanços das ciências físicas. Essa esperança foi uma motivação para muitos cientistas sociais e matemáticos trabalhassem em teoria dos jogos (MYERSON, 1991).

2.4.2.1 Teoria dos jogos, Dilema do Prisioneiro e cooperação

Um jogo, na concepção da teoria dos jogos, é uma descrição de interação estratégica entre jogadores (os tomadores de decisão), que inclui restrições sobre as ações dos últimos e seus interesses (que balizam as decisões dos jogadores). Esses jogos seguem as duas suposições básicas da teoria dos jogos. A primeira afirma que os jogadores perseguem objetivos exógenos bem definidos (os jogadores são racionais). A segunda define que os jogadores levam em consideração seu conhecimento ou expectativas sobre o comportamento de outros jogadores (tomadores de decisão raciocinam estrategicamente) (OSBORNE; RUBINSTEIN, 1994).

Um dos jogos mais empregados na teoria de jogos é o Dilema do Prisioneiro (DP). O DP é composto por dois jogadores. Cada um têm duas opções de ação: cooperação e defeção.

Cada jogador toma a decisão do que fazer sem saber da decisão do outro jogador. Se ambos cooperam, eles ganham R de *reward for mutual cooperation*. Se um coopera e outro não, o primeiro ganha S , de *suckers payoff* e, o segundo, ganha T , de *temptation for defect*. Por fim, se ambos optam por defecção, eles ganham P , oriundo de *punishment for mutual defection* (AXELROD, 1984). Nesse jogo, o intuito dos jogadores é fazer o máximo de pontos possível (MITCHELL, 2009).

Ainda, para que exista um DP, não deve ser compensatório, na busca por altas pontuações, os jogadores efetuarem revezamento de explorações. Isto é, não deve compensar combinar turnos caracterizados por um indivíduo defectar e outro cooperar e, no próximo, os jogadores inverterem as ações. Disso decorre que $T + S/2 < R$. Se tal fato for confirmado e, concomitantemente, $T > R > P > S$ também for verdadeiro, obtém-se a definição do Dilema do Prisioneiro. Às recompensas T , R , P e S são normalmente atribuídos os valores, respectivamente, de 5, 3, 1, 0. Axelrod (1984) empregou tais valores.

Dos valores relativos de T , R , P e S decorre que não importa o que o outro faça, se o jogo for jogado apenas uma vez, sempre compensa a defecção. Isso caracteriza a última como uma estratégia dominante. Todavia, se ambos efetuarem defecção, eles ganham menos pontos do que se ambos tivessem cooperado. Esse último fato é o dilema (AXELROD, 1984; PRADO, 1999).

Entretanto, se o jogo for jogado um número indefinido de vezes e, concomitantemente, existir possibilidade suficientemente grande de os jogadores se encontrarem de novo (de modo que aqueles possuam interesse em futuras interações), a cooperação pode emergir (AXELROD, 1984). Esse mecanismo de evolução da cooperação é chamado de reciprocidade direta (NOWAK, 2006b). É sobre esse mecanismo que Axelrod (1984) aprofunda seus estudos aqui apresentados. Segundo esse mesmo autor, a emergência de cooperação ocorre em três estágios.

Primeiro, mesmo em um mundo de defecção incondicional, a cooperação pode ser iniciada. Isso é possível pela existência de pequenos grupos (em relação à totalidade de indivíduos) de indivíduos que embasam sua cooperação em reciprocidade. Mesmo que interações entre esses indivíduos seja uma pequena proporção das totais que tais indivíduos realizam (todavia, essas interações devem existir), pode ocorrer o desenvolvimento de cooperação desses pequenos grupos (AXELROD, 1984).

O segundo estágio descreve que uma estratégia (uma especificação do que fazer em qualquer situação) fundamentada em reciprocidade pode prosperar não apenas em cenário composto pela estratégia ALL D (estratégia que efetua defecções incondicionais), mas também em um que apresenta muitos tipos distintos de estratégia. O estágio final aponta que, uma vez

que a cooperação (embasada em reciprocidade) for estabelecida, ela pode se defender de invasões de estratégias menos cooperativas (AXELROD, 1984). Desse modo, se a cooperação for visualizada como uma estratégia, ela não é invadida por jogadores de outra estratégia, o que a caracteriza como uma Estratégia Evolutivamente Estável (EEE) (TURNER; CHAO, 1999).

2.4.2.1.1 Torneios de estratégias

Com emprego do DP, foi feito um torneio de estratégias. Nesse, profissionais no âmbito de teoria dos jogos enviaram estratégias para jogar umas com as outras.

Em tal torneio, cada entrada (de estratégia) foi pareada com: uma cópia da mesma estratégia; uma estratégia RANDOM (que decide de maneira aleatória que ação tomar) e com todas as outras estratégias enviadas para o torneio. Cada jogo teve a duração de exatos 200 movimentos e foi jogado apenas entre dois jogadores de cada vez. A matriz de recompensas constituía-se em $T = 5$; $R = 3$; $P = 1$; $S = 0$. O torneio obteve 14 entradas de estratégias.

Houve um comportamento que distinguiu as estratégias que apresentaram alta pontuação das que tiveram baixa: nunca ser a primeira a defectar. Esse comportamento é chamado de ser legal³¹. Todas as oito melhores estratégias no primeiro torneio são legais. Ainda, há substancial lacuna de pontuação entre as estratégias legais e as não legais: as primeiras apresentaram média de 472 até 504 pontos; a melhor pontuação das não legais foi de 401 pontos (AXELROD, 1984).

Além de ser legal, a capacidade de perdão (propensão a cooperar em movimentos posteriores a uma defecção sofrida) também mostrou relação positiva com o desempenho das estratégias. Dentre as estratégias legais, a que menos pontos fez foi a que menos perdoava as outras. Ainda, o comportamento da estratégia campeã corrobora o poder do perdão. A campeã foi a regra de decisão mais simples, chamada de TIT FOR TAT (TFT), que inicia com cooperação e, em seguida, faz o que a outra estratégia (com que está jogando) fez na rodada passada (AXELROD, 1984). Assim, passada apenas uma rodada após ter sofrido uma defecção não provocada, TFT perdoava completamente.

Posteriormente, um segundo torneio foi realizado com a presença de maior número de competidores (62) e informações (dada a experiência e estudo do torneio passado). Esse torneio, em comparação com o primeiro, alterou apenas a durabilidade dos jogos. Esses não mais

³¹Traduzido de “*being nice*”.

possuíam exatamente 200 rodadas e foi adotada a probabilidade³² de 0,00346 de terminar em cada rodada (AXELROD, 1984).

Nesse segundo torneio, apenas uma pessoa reenviou a TIT FOR TAT e, novamente, essa estratégia foi a campeã. Também em congruência com o primeiro torneio, as estratégias legais se saíram melhor. Das 15 primeiras, 14 eram legais e a única não legal dentre essas situa-se apenas na oitava posição. Das 15 estratégias que menos pontuaram, 14 eram não legais (AXELROD, 1984).

Para aprofundar o conhecimento tornado possível pela efetuação dos dois torneios, foram feitas análises de ambos. Por meio dessas, foram identificadas quatro características que engendram bons resultados para uma estratégia. Essas características são: evitar conflito desnecessário por meio de cooperação (enquanto o outro segue cooperando); punir o outro quando ele efetuou uma defeção sem ser provocado; clareza de comportamento para, assim, o outro poder se adaptar ao seu estilo e, por fim, perdão (AXELROD, 1984). Exceto a punição, todas as outras características são essencialmente cooperativas. Por meio desse fato, somado ao sucesso de estratégias legais e perdoadoras (com destaque para a bicampeã TFT), Axelrod (1984) prova que a cooperação pode emergir em um mundo composto puramente por egoístas, no qual inexistia um Estado forte, o que refuta o apresentado pensamento de Hobbes.

2.4.2.1.2 Torneios hipotéticos

Para testar a robustez dos resultados, foi criada uma série de seis torneios hipotéticos. Mais especificamente, com o intuito de averiguar se o TFT demonstra bons resultados em ampla variedade de ambientes, cada torneio possuía uma distribuição muito distinta do tipo de estratégias participantes (AXELROD, 1984).

Para cada torneio, foi considerado que estratégias que obtêm maior pontuação possuem maiores chances de serem enviadas em um futuro torneio (em comparação a estratégias que obtêm menor pontuação). Assim, com o intuito de simular essa flutuação da quantidade de cada estratégia (fundamentada no sucesso da própria estratégia flutuante), o número de cópias (ou prole) de uma estratégia é proporcional ao número de pontos que a última efetua no torneio;

³²O fim do jogo passou a não possuir tamanho exato previsível pois, caso aquele seja previsível, na última rodada sempre compensa defectar (uma vez que não há futuro). O efeito de tal conhecimento se propagada para a rodada anterior, uma vez que é esperada defeção na próxima rodada. Esse efeito em cadeia volta até a primeira rodada, o que gera um jogo de mútua defeção desde o começo (LUCE; RAIFFA, 1957). Isso não é válido caso os jogadores interajam um número indefinido de vezes (AXELROD, 1984).

isto é, o sucesso (mensurado em pontos) determina a quantidade de cópias de cada estratégia. Logo, foi criado um cenário que simula a sobrevivência do mais apto. Todavia, a dinâmica empregada difere de perspectiva evolucionária pois as estratégias não sofrem pequenas mutações para introduzir novas estratégias (AXELROD, 1984).

No início, estratégias devem lidar bem com todas. Todavia, com o tempo, estratégias que fazem poucos pontos vão desaparecendo. Isso expressa que estratégias necessitam encontrar harmonia com seu mutável meio (AXELROD, 1984).

Assim, estratégias não legais, apesar de poderem parecer promissoras no começo, em longo prazo, podem destruir o ambiente necessário para o sucesso delas próprias (AXELROD, 1984). Isso é demonstrado pelas proporções de cada estratégia (expressas no eixo vertical da figura 44) ao longo de mil simulações (o número de simulações é expresso no eixo horizontal do figura 44), com destaque para a estratégia que possui uma estrela em sua linha (próxima a milésima geração), chamada HARRINGTON.

Figura 44 – Sucesso ecológico simulado das estratégias

Fonte: Adaptada de Axelrod (1984, p. 51).

Essa regra de decisão efetua defecção sem a outra estratégia ter feito o mesmo anteriormente, logo, não é legal. Até um pouco antes da geração 200, HARRINGTON era uma das estratégias com melhor desempenho, todavia, suas presas começaram a ser extintas. Desse modo, ele perde seu “alimento” e decai, até ser extinto. No caso de HARRINGTON, ele contribuiu para o fracasso das estratégias com que ele se dava bem (AXELROD, 1984) e, assim, acaba cometendo um suicídio em longo prazo.

Além disso, como mencionado, um dos intuitos desses torneios simulados era verificar a robustez do desempenho da estratégia TFT. Esse teste obteve como resultado cinco campeonatos vencidos pelo TFT e, no único em que essa estratégia não venceu, ela ficou em segundo lugar (AXELROD, 1984).

2.4.2.1.3 Torneios evolucionários: emergência e estabilidade da cooperação

Em 1989 foram conduzidos novos torneios com o emprego de repetição de jogos de DP. Todavia, esses trazem mudanças em relação aos demonstrados por Axelrod (1984). Os novos são “torneios evolucionários” (NOWAK; SIGMUND, 1992), constituídos por mutação e seleção de estratégias em cenário em que existe ruído de comunicação entre os jogadores. Tais torneios foram iniciados com um conjunto aleatório de estratégias e, inicialmente, a campeã foi a que defecta incondicionalmente (ALL D). Todavia, posteriormente, um pequeno grupo de jogadores adotou uma estratégia muito semelhante ao TFT. Se esse grupo é suficientemente grande, toda a população passa a adotar tal estratégia. Assim, por meio do melhor catalisador de cooperação (TFT), essa última emerge (NOWAK, 2006a).

Para melhor compreender tal emergência (sob a ótica da seleção natural), como o mundo anterior à cooperação é composto por estratégias ALL D e o TFT é o melhor catalisador da emergência de cooperação, esse é o cenário considerado. Para tanto, é tomada a matriz de recompensas entre duas estratégias (A e B):

Figura 45 – Matriz de recompensas

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} A & B \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \end{matrix} & \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Fonte: Adaptado de Nowak et al. (2004, p. 647).

Caso A e B representem, respectivamente, TFT e ALL D, tem-se que $a > c > d > b$, dado que o número de rodadas seja finito e supere $(T - P)/(R - P)$. Nesses termos, a dinâmica replicadora determinística de populações infinitas admite equilíbrio instável em frequência de TFT dada por $x^* = (d - b)/(a - b - c + d)$. Se a frequência inicial de TFT for menor do que esse valor, ela será eliminada pela seleção natural (NOWAK et al., 2004).

Já para compreender o estudo da emergência de cooperação em populações finitas, é necessário compreender um parâmetro e um processo utilizado. O parâmetro é w , que quantifica

a intensidade da seleção (caso esse seja pequeno, é dito que existe seleção fraca). Ele determina a contribuição do jogo para a aptidão. Já o processo consiste em, a cada rodada, um indivíduo ser escolhido para reproduzir-se proporcionalmente à sua aptidão. Suas proles substituem um indivíduo selecionado aleatoriamente. O tamanho da população (N) é constante. Nesse contexto, é calculada a probabilidade (ρ_A) de um único indivíduo que utiliza a estratégia A invadir uma população de indivíduos B. Se $\rho_A > 1/N$, a seleção favorece A substituir B (NOWAK et al., 2004).

Como demonstrado na figura 46, pelas áreas em que $N\rho_A > 1$ (descrito pelas imagens **a** e **b** como “ r ”, situado no eixo vertical), a invasão e substituição de ALL D, iniciada por um único indivíduo de TFT, pode ser favorecida pela seleção natural. Nesse contexto, N demonstra importância perante a seleção positiva de TFT. Isso é expresso pela análise dos resultados conforme N varia. Caso N demonstre valor mínimo (2, pois essa é a quantidade mínima necessária para que ocorra jogo de DP), TFT sempre possui menor aptidão do que ALL D. No outro extremo, dado N muito grande, é muito improvável ser alcançada a barreira de invasão caso tal invasão seja iniciada por apenas um TFT. Assim, nem populações muito grandes ou pequenas são ótimas para a emergência da cooperação, mas sim populações de tamanho intermediário (NOWAK et al., 2004).

Figura 46 – Relações entre N , w e r

A e b: a linha tracejada preta horizontal, situada em $r = 1$ demonstra o limite para que ocorra emergência de cooperação. O r deve ser maior do que esse limite para que ocorra tal emergência. C e d: a região sombreada azul indica locais onde $N\rho_A > 1$. A linha amarela contínua demonstra valor de N que, dado determinado w , maximiza $N\rho_A$. A linha tracejada vermelha representa a população mínima para que ocorra seleção positiva de TFT. Essa população mínima é determinada por $N_{min} = (2a + b + c - 4d)/(a + 2b - c - 2d)$. Os parâmetros empregados para efetuar essas quatro imagens foram: $T = 5$; $R = 3$; $P = 1$; $S = 0$. Para $a - c$ foram feitas 10 rodadas; para d , quatro (NOWAK et al., 2004).

Fonte: Adaptado de Nowak et al. (2004, p. 648).

Aprofundando o estudo da emergência de cooperação, para pequeno w e dada a matriz de recompensas da figura 46, a seleção favorece TFT substituir ALL D caso

$$a(N - 2) + b(2N - 1) > c(N + 1) + d(2N - 4) \quad (2.33)$$

seja verdadeiro. Para N mínimo (2), a última desigualdade apresentada indica $b > c$. Para o limite de N grande, é obtido $a + 2b > c + 2d$, que é equivalente a $x^* = 1/3$. Desse modo, em geral, para quaisquer duas estratégias que são as melhores respostas delas mesmas (que significa que $a > c$ e $d > b$ na matriz de recompensas), é encontrado que a seleção pode favorecer A substituindo B para algum w e N caso $b > c$ ou $x^* < 1/3$ (NOWAK et al., 2004).

Apesar de o TFT ser extremamente importante para a emergência da cooperação, essa estratégia não demonstra grande estabilidade nos torneios evolucionários. Isso pois, caso ocorra ruído na comunicação entre dois TFTs, uma ação cooperativa é compreendida como uma defeitiva. Isso gera eterna defecção entre ambos os TFTs (NOWAK, 2006a). Assim, outra estratégia assume o lugar de TFT. Ela é chamada de Generous TIT FOR TAT (GTFT). Ela coopera se o oponente cooperou na rodada passada e, de maneira probabilística, coopera até quando o oponente defecta. Dessa maneira, a “seleção natural descobriu o ‘perdão’” (NOWAK, 2006a, p. 1525).

Posteriormente, GTFT foi substituída pela estratégia que coopera incondicionalmente (ALL C). Isso abre espaço para a estratégia ALL D tomar espaço e essa última passa a dominar novamente. Desse modo, a evolução segue ciclos: ALL D; TFT; GTFT; ALLC; ALLD, TFT e assim sucessivamente (NOWAK, 2006a).

Para que ALL D ressurgja após ter sido derrotada, deve ser eliminada a reciprocidade (eliminação manifestada na estratégia ALL C), característica necessária, segundo Axelrod (1984) para que a cooperação se mantenha. Logo, a quebra de cooperação (substituição de ALL C por ALL D) não contesta o status de EEE da cooperação atrelada à reciprocidade.

Esse fato é reforçado pelo resultado obtido por novas simulações interativas entre estratégias em jogos de DP. Essas simulações abarcam maior escopo de estratégias e, assim, demonstraram uma estratégia que é capaz de manter-se por longos períodos (NOWAK; SIGMUND, 1993), rompendo com as oscilações de estratégias. A nova estratégia é chamada de “ganha-fica, perde-troca” (WSLS). Suas ações seguem a lógica de, se obtido *R* ou *T*, é mantida a última ação tomada e, se obtido *S* ou *P*, a próxima ação difere da última tomada. Essas estratégias, quando jogam entre si, cooperam a maior parte do tempo (NOWAK, 2006a).

Figura 47 – Ciclos evolucionários de cooperação e defecção

Fonte: Adaptado de Nowak (2006a, p. 1526).

2.4.2.1.4 Cooperação em redes

A adição de ruído feita por Nowak e Sigmund (1992) faz com que o modelo aproxime-se mais da realidade. Além dessa alteração, outras podem ser feitas com a mesma utilidade. Dentre as muitas opções possíveis, analisar propriedades da evolução da cooperação sob a perspectiva de desenhos topológicos demonstra-se válido para melhor compreender tal evolução. A validade dessa abordagem é reforçada pelo fato de experimentos laboratoriais terem confirmado que limitações topológicas afetam de maneira considerável a evolução de cooperação (KERR et al., 2002).

Com o intuito de identificar propriedades de sistemas reais, o emprego do modelo BA demonstra utilidade, uma vez que ele gera redes livres de escala, redes essas que demonstram importantes similaridades com diversos sistemas complexos reais (como heterogeneidade e $\langle d \rangle$ relativamente pequeno) (BARABÁSI, 2014; MITCHELL, 2009). Para melhor compreender as propriedades da evolução da cooperação em redes oriundas do modelo BA, o mesmo é feito com redes regulares. Considerando isso, redes são construídas. Todas as redes possuem $N = 10^4$ e são divididas entre regulares e livres de escala (SANTOS; PACHECO, 2005).

Já para simular relações entre indivíduos, são utilizados dois jogos. Um é o DP; o outro, o *Snowdrift Game* (SG) (GINTIS, 2000). Esse último jogo é mais favorável à cooperação: em comparação com o ordenamento das recompensas do DP, que são $T > R > P > S$, SG inverte a ordem do P pelo S , isto é, no SG, $T > R > S > P$ (SANTOS; PACHECO, 2005). Os dois jogos são reescalados para ambos dependerem de apenas um único parâmetro. Para o DP, considerando que b representa vantagem de defectores sobre cooperadores (NOWAK; MAY, 1992) (tipicamente contido no intervalo de $1 < b \leq 2$), é assumido que $T = b > 1$, $R = 1$ e $P = S = 0$. Para SG, dado que a taxa de custo-benefício de cooperação mútua é $r = 1/(2\beta - 1)$, com $0 \leq r \leq 1$, é empregado $T = \beta > 1$, $R = \beta - 1/2$, $S = \beta - 1$ e $P = 0$ (SANTOS; PACHECO, 2005).

Nas redes regulares, inicialmente, igual porcentagem de estratégias, considerados os cooperadores e os defectores, foi distribuída de maneira aleatória. A dinâmica desse tipo de rede é dada do seguinte modo: em cada rodada, todos os pares de indivíduos x e y que estão diretamente conectados jogam uma rodada de um dado jogo. As recompensas acumuladas oriundas do jogo são conservadas como, respectivamente, P_x e P_y . Um local x é atualizado e, sempre que isso ocorre, de todos os k_x vizinhos, um é selecionado de maneira aleatória. Caso $P_y > P_x$, o vizinho selecionado de maneira aleatória toma o local x com probabilidade determinada por $(P_y - P_x)/(D_k >)$, onde $k >$ é o maior dentre k_x e k_y ; $D = T - S$ para o DP e, para o SG, $D = T - P$ (SANTOS; PACHECO, 2005).

Já sobre as redes livres de escala, dada a utilidade do modelo BA, elas foram construídas fundamentadas em crescimento e conexão preferencial. As simulações nesse tipo de rede foram feitas seguindo as mesmas linhas das simulações associadas às redes regulares. Também, mesmo nessas redes originadas pelo modelo BA, o estudo da cooperação é feito em redes que conservam o número de nós e arestas ao longo da evolução (isto é, a cooperação é estudada em redes totalmente desenvolvidas) (SANTOS; PACHECO, 2005).

De acordo com as dinâmicas apresentadas, são expostos, na figura 48, os resultados da frequência de cooperadores em função de b para DP e de r para SG. Essa exposição é feita para os dois tipos de redes (regulares e livres de escala) e, por meio dela, são visualizados resultados para distintas conectividades médias, expressas por z (DP e SG) (SANTOS; PACHECO, 2005).

Figura 48 – Frequência de cooperadores em distintas redes de contato

Os dois quadrantes superiores dizem respeito a redes regulares; os dois inferiores, a redes livres de escala. Os dois quadrantes do lado esquerdo demonstram resultados do jogo de DP; já os do lado direito, de SG. Limites de população bem misturada são, para DP, a linha de base zero e, para SG, a linha diagonal (em laranja) dada por $1 - r$. Frequências de equilíbrio de cooperadores e defectores foram obtidas pela média de mais de 1000 gerações após tempo transitório de 10000 gerações (a média de períodos maiores ou emprego de distintos tempos transitórios não altera os resultados).

Fonte: Adaptado de Santos e Pacheco (2005, p. 098104-2).

A interpretação dos resultados gera a conclusão de que “a cooperação domina os dois jogos em toda a gama dos seus respectivos parâmetros”. Além desse domínio, o comportamento qualitativo da cooperação é muito semelhante na comparação entre o apresentado pelo SG em função de r e o apresentado por DP em função de b . Ainda, apenas para grandes valores de ambos os parâmetros (r e b), a frequência de equilíbrio dos cooperadores cai abaixo de 80%. Esse é um resultado que torna, ao longo da evolução, o comportamento cooperativo uma característica muito útil (SANTOS; PACHECO, 2005, p. 098104-3).

Para verificar a robustez dos resultados, são apresentados os obtidos para redes pequenas, em contraste com o já realizado. Os resultados qualitativos são muito semelhantes aos já demonstrados.

Figura 49 – Evolução de cooperação em comunidades pequenas

Os dois quadrantes superiores representam redes de $N = 515$; os dois inferiores, redes de $N = 128$.
Fonte: Adaptado de Santos e Pacheco (2005, p. 098104-3).

Assim, a alta frequência de cooperadores em redes livres de escala demonstra robustez. Todavia, a figura 49 trata de comunidades de tamanho muito pequeno e, para essas, não se pode atribuir um comportamento livre de escala à distribuição de grau associada. O que é coexistente entre as grandes e pequenas redes livres de escala apresentadas são correlações de idade. Essas correlações resultam das regras dinâmicas de crescimento e conexões preferenciais (SANTOS; PACHECO, 2005) e são caracterizadas por nós mais antigos, que tendem a exibir maior grau, estarem interconectados uns com os outros (DOROGOTSEV; MENDES, 2003).

Assim, deve-se compreender de uma forma mais aprofundada a relação da dominação da cooperação com correlações de idade (e com distribuição de grau). Para tanto, são comparados os resultados de redes geradas pelo modelo BA com os obtidos por outros dois tipos de redes. Um desses tipos é oriundo do modelo de configuração. Ele assume uma distribuição de grau pré-determinada (foi escolhida a gerada pelo modelo BA) e, simultaneamente, fornece redes maximamente aleatórias. Esse último tipo é construído com a

substituição da regra de conexão preferencial por conexão uniforme (SANTOS; PACHECO, 2005). Na conexão uniforme, o novo nó (adicionado) é conectado com igual probabilidade aos nós já existentes, independentemente do grau desses (BARABÁSI; ALBERT; JEONG, 1999).

As redes oriundas do modelo de configuração (MOLLO; REED, 1995) eliminam todo tipo de correlação entre nós para dada distribuição de grau $d(k)$. Já as conexões uniformes podem reduzir as correlações de idade (SANTOS; PACHECO, 2005). A distribuição de grau de rede que segue modelo BA e rede que segue conexões uniformes não são idênticas (BARABÁSI; ALBERT; JEONG, 1999).

Figura 50 – Evolução da cooperação em redes que apresentam distintos níveis de correlações

Todas as redes possuem $N = 10^4$ e $z = 4$.

Fonte: Adaptada de Santos e Pacheco (2005, p. 098104-3).

A comparação entre a rede do modelo BA e a rede do modelo de configuração, dado que ambos os modelos apresentam idêntica distribuição de grau, expressa que a correlação de idade é importante para a cooperação (SANTOS; PACHECO, 2005). Essa importância manifesta-se em duas propriedades. A primeira constitui-se pelo fato de o modelo BA demonstrar maiores frequências de cooperadores mesmo para baixos valores de parâmetros (b e r). A segunda refere-se ao comportamento da frequência de cooperadores conforme aumentam os valores dos parâmetros. Para o modelo BA, que apresenta correlação de idade, aquela frequência decai com menor velocidade do que no modelo de configuração.

Já sobre a comparação do modelo BA com o de conexão uniforme, destaca-se que, para valores dos parâmetros menores do que áreas centrais do eixo horizontal (de maneira mais exata, para DP, valores de b menores do que 1,4 e, para SG, valores menores de r do que 0,6),

ambos os modelos demonstram resultados muito similares. Todavia, para $b > 1,4$ em DP e $r > 0,6$ em SG, a frequência de cooperadores no modelo de conexão uniforme demonstra grande e rápida queda (em comparação com o comportamento da mesma frequência visto no modelo BA).

Fundamentado nas duas comparações efetuadas, é possível concluir que a correlação de idade demonstra importante papel para a dominação da cooperação. Em interpretação mais precisa, dado que, mesmo em redes criadas pelo modelo BA, caso removidas as conexões entre hubs, a cooperação é inibida, conclui-se que a conexão entre hubs é um fator de grande importância para a dominação da cooperação (SANTOS; PACHECO, 2005).

Como redes sociais tendem a ser assortativas (BARABÁSI, 2014), é esperado que a cooperação nesse tipo de rede seja reforçada. Também, como todos os sistemas reais que são livres de escala apresentam conexão preferencial (BARABÁSI, 2014) e essa dinâmica, conjuntamente com crescimento, gera correlações de idade, que fazem com que hubs sejam interconectados entre si, constata-se novamente que a cooperação é favorecida em redes sociais (inseridas na categoria de sistemas reais).

Ainda, outra característica comumente presente em redes reais (inclusas as sociais) reforça a força da cooperação nelas. Essa característica é a heterogeneidade, que é a principal responsável pelo fato de a cooperação demonstrar resultados muito melhores em redes detentoras de tal propriedade, isso perante os resultados obtidos por redes regulares (SANTOS; PACHECO, 2005).

Dada a dinâmica entre cooperadores e defectores do modelo, a dominação da cooperação, além de ocorrer, é robusta. Isso pois, uma vez que os hubs estão interconectados, mesmo se um defector ocupar um hub, a probabilidade de esse defector ser substituído por um cooperador é essencialmente um (SANTOS; PACHECO, 2005).

2.4.2.2 Cinco mecanismos para a evolução de cooperação

Além do mecanismo de reciprocidade direta e da consideração de estruturas reticulares, Nowak (2006b) destaca outros três mecanismos que fazem com que ocorra a evolução da cooperação. Tal evolução é alcançada caso cooperadores atinjam o patamar de Estratégia Evolutivamente Estável (EEE), que é definido, pelo autor, por eles serem capazes de resistir à invasão de defectores.

Para compreender esses mecanismos, é dado que cooperação é o ato de um replicador egoísta renunciar alguma parte de seu potencial reprodutivo para ajudar outro indivíduo. Um

cooperador paga um custo c para que outro indivíduo receba um benefício b . Um defector não paga custos e não gera benefícios. Custos e benefícios são mensurados em termos de aptidão. A reprodução pode ser genética ou cultural (NOWAK, 2006b).

A já apresentada reciprocidade direta é um dos mecanismos. Ela leva à evolução da cooperação quando $w > c/b$, onde w é a probabilidade de outro encontro ocorrer entre os mesmos indivíduos que efetuarão a interação (NOWAK, 2006b).

Figura 51 – Reciprocidade direta

Círculos azuis representam indivíduos cooperadores, já os vermelhos representam defectores. Isso é válido para todas as figuras que tratam de defectores e/ou cooperadores.

Fonte: Adaptada de Nowak (2006b, p. 1562).

Seleção de parentesco³³ (TAYLOR, 1992; QUELLER, 1992) é outro dos cinco mecanismos (NOWAK, 2006b). Aquela é embasada na ideia de que cooperação acontece de acordo com o grau de parentesco entre os atores do ato cooperativo. Se $r > c/b$, onde r é o coeficiente de parentesco (parentesco é definido pela probabilidade de possuir um mesmo gene, por exemplo, entre irmãos esse é $1/2$), a cooperação é favorecida (NOWAK, 2006b).

Figura 52 – Seleção de parentesco

Fonte: Adaptada de Nowak (2006b, p. 1562).

Reciprocidade indireta é outro mecanismo. Ela apresenta como força motriz as reputações dos indivíduos (NOWAK, 2006b). Ou seja, é a reputação que possibilita a evolução da cooperação por meio desse mecanismo (NOWAK; SIGMUND, 1998). Assim, a reciprocidade indireta pode promover cooperação apenas se $q > c/b$, onde q é a probabilidade de saber a reputação de alguém (NOWAK; SIGMUND, 1998; NOWAK, 2006b).

³³De *kin selection*.

Figura 53 – Reciprocidade indireta

Fonte: Adaptado de Nowak (2006b, p. 1562).

Um dos dois mecanismos restantes é a reciprocidade de rede. Ela considera o fato de que populações reais não são bem misturadas. Isso descreve que indivíduos interagem mais com uns do que com outros (NOWAK, 2006b). Para captar essa realidade, é útil utilizar a teoria dos grafos evolutivos (LIEBERMAN; HAUERT; NOWAK, 2005). No grafo, os indivíduos são vértices e as arestas determinam quem interage com quem. Um cooperador paga c para que cada vizinho seu receba b . Se $b/c > k$ (por indivíduo), onde k é o número médio de vizinhos, reciprocidade em rede pode favorecer cooperação (NOWAK, 2006b; OHTSUKI et al., 2006).

Figura 54 – Reciprocidade de rede

Fonte: Adaptado de Nowak (2006b, p. 1562).

Por fim, ao considerar que seleção não ocorre apenas em indivíduos, mas também em grupos de indivíduos, justifica-se o mecanismo de seleção de grupo. Um modelo de funcionamento da seleção de grupos é iniciado pela efetuação da subdivisão da população em grupos. Cooperadores ajudam-se em seu grupo, diferente do que fazem os defectores. Indivíduos se reproduzem de acordo com a recompensa que obtêm e as proles são adicionadas ao mesmo grupo de seus geradores (NOWAK, 2006b; TRAULSEN; NOWAK, 2006).

Se o grupo atinge determinado tamanho ($n + 1$), ele se divide em dois. Nesse caso, para impor limite à população total, outro grupo é extinto (m descreve o número de grupos). Assim, a seleção existe no nível de indivíduos (dentro dos grupos, nível micro) e também no nível de grupos (entre os grupos, nível macro). Tomados defectores e cooperadores, dentro de grupos (nível micro) misturados, os primeiros são favorecidos, todavia, na competição entre grupos

(nível macro) puros (não misturados), os grupos compostos por cooperadores são favorecidos. Uma simples regra determina se a seleção de grupo permite a evolução de cooperação: $b/c > 1 + (n/m)$ (NOWAK, 2006b; TRAULSEN; NOWAK, 2006).

Figura 55 – Seleção de grupo

Fonte: Adaptado de Nowak (2006b, p. 1562).

Cooperadores não se limitam a ser EEE. Eles também podem ser Risco-Dominantes (RD) e Vantajosos (VJ) em comparação com defectores. Para cooperadores serem risco-dominantes, a bacia de atração de defectores deve ser menor do que $1/2$. Já para cooperadores serem vantajosos, a bacia de atração dos defectores deve ser menor do que $1/3$. Nesse último caso, a probabilidade de fixação de um único cooperador em uma população finita de defectores é, para seleção fraca³⁴, maior do que o inverso da população total (NOWAK, 2006b).

Figura 56 – Cooperadores como EEE; RD e VJ, dada ordem de cima para baixo

Fonte: Adaptado de Nowak (2006b, p. 1561).

³⁴Traduzido de “*weak selection*”, que significa que um fenótipo é ligeiramente vantajoso ao ser comparado com outro (WU et al., 2010).

O estudo matemático possibilita identificar os requisitos para que cada mecanismo seja capaz de tornar cooperadores EEE (assim demonstra a origem das fórmulas já apresentadas para cada um dos cinco mecanismos engendram a evolução da cooperação), RD e VJ. A ideia crucial é que cada mecanismo pode ser visualizado como um jogo entre duas estratégias, dado por uma matriz (2 x 2) de recompensas (NOWAK, 2006b).

Quadro 3 – Matriz de recompensas dos cinco mecanismos e condições necessárias para cooperadores serem EEE, RD e vantajosos

		Payoff matrix		Cooperation is...			
		C	D	ESS	RD	AD	
Kin selection	C	$(b-c)(1+r)$	$br-c$	$\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$	$\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$	$\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$	$r...$ genetic relatedness
	D	$b-rc$	0				
Direct reciprocity	C	$(b-c)/(1-w)$	$-c$	$\frac{b}{c} > \frac{1}{w}$	$\frac{b}{c} > \frac{2-w}{w}$	$\frac{b}{c} > \frac{3-2w}{w}$	$w...$ probability of next round
	D	b	0				
Indirect reciprocity	C	$b-c$	$-c(1-q)$	$\frac{b}{c} > \frac{1}{q}$	$\frac{b}{c} > \frac{2-q}{q}$	$\frac{b}{c} > \frac{3-2q}{q}$	$q...$ social acquaintanceship
	D	$b(1-q)$	0				
Network reciprocity	C	$b-c$	$H-c$	$\frac{b}{c} > k$	$\frac{b}{c} > k$	$\frac{b}{c} > k$	$k...$ number of neighbors
	D	$b-H$	0				
Group selection	C	$(b-c)(m+n)$	$(b-c)m-cn$	$\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$	$\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$	$\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$	$n...$ group size $m...$ number of groups
	D	bn	0				

Os valores das matrizes de recompensas dizem respeito ao jogador da linha. É dessas matrizes que são derivadas condições necessárias para a evolução de cooperação, isto é, para que cooperadores sejam EEE, RD e VJ. Todas as condições podem ser expressas como a razão de benefício para custo excedendo determinado valor crítico.

Fonte: Nowak (2006b, p. 1562).

Para a seleção do parentesco, foi considerado que a recompensa de um jogador multiplicada por r é adicionada à recompensa do outro jogador. Para reciprocidade direta, cooperadores usam TFT e, defectores, ALL D, com número esperado de rodadas de $1/(1-w)$. Para reciprocidade indireta, um cooperador ajuda, a não ser que a reputação do outro jogador indique que ele é um defector (o último nunca coopera). Para reciprocidade de rede, foi usado o parâmetro $H = [(b-c)k - 2c]/[(k+1)(k-2)]$. Por fim, para seleção do grupo, as matrizes dos dois jogos (dentro e entre grupos) podem ser somadas (NOWAK, 2006b).

2.4.3 Conclusão sobre cooperação

A evolução da cooperação demonstra considerável gama de mecanismos para que ocorra (NOWAK, 2006b). A possibilidade da emergência de cooperação, mesmo em um mundo

de defecções incondicionais, foi confirmada (AXELROD, 1984; NOWAK et al., 2004). Tal emergência ainda se fez presente em modelo fundamentado em processos probabilísticos (JAIN; KRISHNA, 2001). Assim, em situações randômicas ou até desfavoráveis, a cooperação mostra-se capaz de emergir.

Após ter ascendido, a cooperação é caracterizada por robustez e capacidade de propagação (JAIN; KRISHNA, 2001; AXELROD, 1984; NOWAK, 2006a; NOWAK, 2006b). Ainda, tomadas propriedades comumente vistas em redes que descrevem sistemas reais (BARABÁSI, 2014), o comportamento cooperativo demonstra-se uma característica muito competitiva (SANTOS; PACHECO, 2005). Ou seja, um cenário que modela a realidade favorece a cooperação.

No campo biológico, a cooperativa Simbiogênese é mais eficiente como geradora de inovação evolutiva do que processos que fundamentam a teoria darwiniana (MARGULIS, 2001). Também com enfoque para o campo biológico, sobre a importância da cooperação, Nowak afirma que:

[...] a evolução é construtiva por causa da cooperação. Novos níveis de organização evoluem quando as unidades concorrentes no nível inferior começam a cooperar. A cooperação permite a especialização e, assim, promove a diversidade biológica. A cooperação é o segredo por trás da abertura do processo evolutivo. (NOWAK, 2006b, p. 1563).

A cooperação é um dos valores da tendência integrativa (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014). Essa atrela-se, sob diversos aspectos, ao PVMH. Assim, tal paradigma encontra sólida sustentação em fatos e dinâmicas reais.

Finalizada a discussão de aspectos do paradigma PCN e especialmente do PVMH, é possível analisar implicações de dissimilaridades entre ambos para a ciência.

3 REDES E ORGANIZAÇÕES

3.1 O todo e as partes

Por meio do paradigma cartesiano, Taylor efetuou seus experimentos que originaram a administração científica (MILLER, 1987). Em congruência, outros movimentos clássicos administrativos também são marcados por aquele paradigma. Ford, por exemplo, fundamentava suas abordagens gerenciais na fragmentação de tarefas. Weber, por sua vez, configurava a organização em unidades (CARAVANTES; PANNO; KLOECKNER, 2005). Ainda, há tendência de a competitividade ser valorizada no campo administrativo, como expresso pelos ensinamentos de Porter (1998) e Chiavenato (2014).

Todavia, a emergência de organizações em redes marca transição de percepção administrativa. Assim como a tensão básica entre o PCN e o PVMH dá-se entre as partes e o todo (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014), para alguns autores, a inovação de redes, no contexto organizacional, está no deslocamento do objeto de estudo, que passa do ator individual para o padrão de conexões e interações como um todo (FLEURY; OUVERNEY, 2007). Acompanhando esse deslocamento, é clara a percepção de emergentes (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018) (vinculados à imprevisibilidade) (GOLDSTEIN, 1999) e a valorização da cooperação (FLEURY; OUVERNEY, 2007) em redes no âmbito organizacional.

Nesse contexto, pelo fato de os elementos conexos serem pessoas ou sistemas sociais, a cooperação demonstra-se intrincada à reticularidade e aos emergentes, assim, separá-los acarreta em percepção superficial da realidade. Para a compreensão de todas essas propriedades de redes organizacionais, elas devem, inicialmente, ser definidas em perspectiva abrangente.

3.2 Definição de redes no âmbito organizacional

Como existe grande gama de definições de redes no âmbito organizacional, é útil identificar o que, segundo Fleury e Ouverney (2007), parece ser comum a todas. Essa é a estruturação policêntrica. Essa estruturação é produzida pela replicação dos dois elementos básicos da composição estrutural do conceito de redes. Esses elementos são os nós e as conexões. Ou seja, redes, no âmbito aqui discutido, são percebidas estruturalmente da mesma maneira como redes são definidas pela teoria de redes: um conjunto de elementos que possuem conexões entre eles (NEWMAN, 2003).

Também, Fleury e Ouverney (2007) afirmam que existem três aspectos essenciais para a caracterização de redes. O primeiro é a existência de uma estrutura, ou seja, existem padrões estáveis de interação. O segundo aspecto fundamenta-se no fato de que tais interações ocorrem entre atores que possuem um grau consistente de autonomia. Isto é, as relações entre os componentes da rede não são estritamente hierárquicas. O terceiro e último aspecto é a interdependência entre os componentes da rede (FLEURY; OUVERNEY, 2007).

3.2.1 Redes, mercados e hierarquias

Agranoff e McGuire (2001) afirmam que existe premissa de que a rede é uma forma institucional única. Nessa premissa, redes são vistas como sendo formadas por processos distintos do gerenciamento visível das hierarquias e da coordenação espontânea de mercados (POWELL, 1990). Essa premissa embasa o estudo de redes, assim, compreendê-la torna-se necessário para estudá-las.

Aquela distinção não diz respeito à estrutura, dado que hierarquias e mercados podem ser expressos estruturalmente em redes. Por exemplo, uma hierarquia pode ser marcada por muitas arestas atingindo apenas um nó (PODOLNY; PAGE, 1998). Por outro lado, as diferenças entre redes e hierarquias podem sim ser vistas de acordo com a centralização de poder, estabilidade e tipo de problema de que tratam. Brujin e Heuvelhof (2018), ao analisar esses dois aspectos, indicam que,

[...] em uma hierarquia, há um ator que está no comando, os problemas são frequentemente estruturados e há certo grau de estabilidade. Em contraste, em uma rede há muitos atores, nenhum dos quais está no comando, problemas são desestruturados e há dinâmicas. (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018, p. 9).

À centralização de poder, são somadas especificidades de propriedades de relações que distinguem redes, hierarquias e mercados. Nessa perspectiva,

Definimos uma organização em forma de rede como qualquer conjunto de atores ($N \geq 2$) que mantém entre si relações de trocas repetidas e duradouras e, ao mesmo tempo, carecem de uma autoridade organizacional legítima para arbitrar e resolver as disputas que possam surgir durante as trocas. Num mercado puro, as relações não são duradouras, mas episódicas, estabelecidas somente com o propósito específico de transferência de bens e recursos e terminando após essa transferência. Nas hierarquias, as relações podem durar mais do que um breve episódio, mas existe uma autoridade legítima e claramente reconhecida para solucionar as disputas que surgem entre os atores. (PODOLNY; PAGE, 1998, p. 59).

3.3 Redes e organizações

Arelada à concepção de redes no âmbito organizacional, existe a percepção (efetuada anteriormente àquela concepção) de organizações como entidades interconectadas. Essa percepção descreve propriedades geradas por estrutura interconectada no âmbito organizacional.

3.3.1 *Perspectiva sistêmica organizacional*

Todos os sistemas vivos possuem seus componentes arranjados em redes e essas últimas engendram fenômenos não-lineares (como laços de realimentação) (CAPRA, 2006). Destarte, a percepção da interconectividade organizacional trata, naturalmente, de paralelos entre organizações e organismos e da não-linearidade. Consciente disso, a perspectiva sistêmica no âmbito organizacional é melhor compreendida.

O início de tal perspectiva ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse contexto, com base em análise e planejamento de operações militares, foi desenvolvido um método de pensamento estratégico, chamado de “análise de sistemas”. Posteriormente, em período próximo a esse, ocorreu um desenvolvimento de tecnologias que tornou as empresas mais complexas. Em consequência, administradores expandiram o escopo de sua preocupação: além de se atentarem à grande quantidade de indivíduos, prestavam atenção para os efeitos gerados por interações entre aqueles. Assim, na década de 1950 e 1960, o pensamento sistêmico influenciou fortemente a administração (CAPRA, 2006).

Em coerência, posteriormente ao emprego de análise de sistemas em complexos problemas de organização em âmbito militar, tal método foi empregado por administradores. Nas décadas de 1960 e 1970, foi lançada uma série de livros de administração com a palavra “sistema” em seu título (CAPRA, 2006). Também foram desenvolvidas a cibernética da administração, por Stanford Beer, e a dinâmica de sistemas, por Jay Forrester (RICHARDSON³⁵, 1992 apud CAPRA, 2006). Essa última utiliza-se de modelagem, técnica frequentemente empregada em estudo de sistemas complexos.

Arelada diretamente e indiretamente à percepção de interconectividade (especialmente sobre paralelos entre organizações e organismos), Burns e Stalker (1961) realizam a divisão

³⁵RICHARDSON, G. P. **Feedback Thought in Social Science and Systems Theory**. Filadélfia: University of Pennsylvania Press, 1992.

entre funcionamento de organizações mecanísticas e orgânicas. Na organização de tipo mecanístico, centralização e hierarquia formal de autoridade são predominantes (BURNS; STALKER, 1961). Ainda no mesmo tipo de organização, “os procedimentos demandam que a organização torna-se uma máquina eficiente, com muitas regras, regulamentos e controles” (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010, p. 8-9).

Já no orgânico, os indivíduos se comunicam por meio de todos os níveis da organização (maior interconectividade), têm sua variabilidade valorizada e trabalham em grupos (BURNS; STALKER, 1961). Desse modo, a visão sobre o funcionamento de organização em redes é melhor descrita, caso comparada a visão de funcionamento de uma organização orgânica com a visão de funcionamento de uma organização mecanicista, pela primeira visão (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010).

Quadro 4 – Funcionamento de organizações mecanísticas e orgânicas

Variáveis	Organizações Mecanísticas	Organizações Orgânicas
Estrutura organizacional	Burocracia	Adhocracia
Desenho dos cargos	Estáveis, Fragmentados, Especializados	Mutáveis
Processo de decisões	Centralizado	Descentralizado
Comunicações	Mais verticais	Mais laterais
Confiabilidade	Nas regras formais	Nas pessoas
Princípios predominantes	Administração científica	Teoria relações humanas
Ambiente externo	Estável	Instável

Fonte: Klering, Porsse e Guadagnin (2010, p. 10).

Uma década depois, Warren Bennis (1972), em semelhança com Burns e Stalker (1961), traça, novamente, paralelos entre organização e organismos (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010). Bennis enfatiza os pontos expressos no quadro 5:

Quadro 5 – Comparações entre organizações mecânicas e orgânicas

Variáveis	Organizações Mecânicas	Organizações Orgânicas
Ênfase	Nos indivíduos	Nos grupos
Base do relacionamento	Na obediência	Na confiança
Responsabilidade	Dividida	Compartilhada
Divisão do trabalho	Hierárquica	Multigrupal
Tomada de decisões	Centralizada	Descentralizada
Solução de conflitos	Através de repressão	Através de negociação

Fonte: Bennis³⁶ (1972) apud Klering, Porsse e Guadagnin (2010, p. 11).

Tomadas as características de organizações mecânicas e orgânicas, com a passagem de uma organização do primeiro para o segundo modelo, ela “torna-se mais aberta, descentralizada, emaranhada, ajustada ao contexto e significativa. As organizações em rede conseguem realizar melhor tal ajustamento ao ambiente [...]” (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010, p. 11).

Por essa capacidade de ajustamento com o ambiente, é razoável assumir que a ascensão de organizações em redes pode estar vinculada ao incremento de mutabilidade do meio em que se inserem. Assim, questiona-se se tal presunção é correta e quais outros aspectos impulsionaram aquela ascensão. Respostas para esses questionamentos não constituem mera contextualização histórica/ambiental, mas sim acarretam descobertas sobre características de redes.

3.3.2 Emergência de organizações em redes

Existem diversos motivos para a emergência de organização de redes. Tal diversidade reflete a multidimensionalidade do próprio objeto analisado.

Primeiro são apresentados os motivos válidos para contexto abrangente e, posteriormente, os que descrevem a emergência de redes em administração pública. É feita essa separação para tornarem-se claras as essenciais similaridades (e as existentes dissimilaridades) entre ambos os cenários, fundamentadas na complexidade, manifestas em formatos concordantes com o contexto a que se referem (em ambos os cenários, são apresentados motivos para aquela emergência em nível micro e macro, com grande ênfase para o macro). Os válidos para contexto abrangente podem ser divididos em dois tipos. O primeiro é composto por

³⁶BENNIS, W. **Desenvolvimento organizacional**: sua natureza, origens e perspectivas. São Paulo: Edgar Blücher, 1972.

fenômenos que intensificam a interconectividade do meio em que organizações se inserem (como a globalização) e as consequências de tal aumento (como a dispersão de poder e a simultânea coletivização de tarefas). O segundo trata de vantagens intrínsecas ao arranjo de redes em organização.

3.3.2.1 O aumento de interconectividade

No final do século XX, ocorreu o desenvolvimento de novas tecnologias de informação e comunicação, da globalização da economia (PIMENTA, 1998; FLEURY; OUVÉNEY, 2007), das próprias tecnologias (assim, eram criadas e difundidas) e da comunicação e internet (KLERING; PORSSE, 2014). Como a globalização da economia e a internet significam que tudo está conectado (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018, p. 1), o mundo descrito por tais propriedades (como o atual) é um mundo interconectado (CASTELLS, 2011).

Interconexões entre elementos proporcionam fenômenos emergentes (WOLF; HOLVOET, 2005). Ainda, o aumento do número de agentes participantes da rede tende a descrever aumento de complexidade nessa última (WEST, 2017; MITCHELL, 2009). Assim, a complexidade passa a caracterizar o mundo.

O arranjo reticular, assim como suas consequências, manifesta-se em distintos âmbitos e aspectos. Um exemplo é o poder que, ao invés de centralizado, apresenta-se disperso e as tarefas se tornam unificadas (ao invés de subdivididas e especializadas). Em um mundo que apresenta essas características, é necessário um tipo de organização fundamentada em poder disperso e unificação. Ou seja, é buscado alinhamento entre a organização e seu meio (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001).

Além disso, a complexidade ocasionada pelas mudanças ocorrentes no final do século XX manifesta-se na incerteza (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010; BRUJIN; HEUVELHOF, 2018) e na continuidade de mudanças (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018) que marcam a conjuntura constituída por aquelas mudanças (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010; BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Ainda, o mundo interconectado, por estar sempre em movimento, possui a dinamicidade como uma de suas características principais. A dinâmica, tomada de maneira ideal, pode ser vista como o oposto de estabilidade (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Brujin e Heuvelhof (2018) distinguem a dinâmica entre dois tipos distintos: de atores e de conteúdo. Essas duas dinâmicas relacionam-se. Essa relação entre os dois tipos de mudança pode ocasionar um mútuo reforço. Nesse caso, “[...] uma situação dinâmica pode degenerar em uma situação caótica. Mas,

por trás desse caos, há um padrão [...]”, que são as dinâmicas (dos dois tipos) originadoras de tal caos³⁷ (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018, p. 7).

A dinamicidade, ao caracterizar o meio no qual existe maior complexidade de processos administrativos, impossibilita qualquer ator isolado de controlar a velocidade das mudanças e os processos. Assim, a interdependência é aumentada. A última também existe frequentemente pela interdependência de recursos (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Ainda vinculada ao mundo interconectado, tem-se a intensificação de problemas perversos ou desestruturados (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001; BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Problemas perversos são problemas que não possuem soluções, possuem apenas resoluções temporárias e imperfeitas (HARMON; MAYER, 1986). Sob outra ótica, problemas desestruturados podem ser idealizados como opostos de problemas estruturados. Como os últimos são caracterizados por apresentar apenas uma solução correta, problemas desestruturados não apresentam apenas uma resposta correta (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Extrapolando a ótica do produto (soluções), problemas desestruturados podem ser vistos sob a ótica da entrada e processamento de informações. Caso os fatos necessários (entrada) para uma boa tomada de decisão sejam ambíguos (ao invés de claros) e, conjuntamente, as considerações normativas que devem ser ponderadas (processamento) para que se atinja uma boa decisão sejam subjetivas (ao invés de objetivas), o problema discutido é desestruturado (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Não é possível lidar com problemas perversos como o gerenciamento tem tradicionalmente lidado com problemas de políticas públicas. Assim, tais problemas desafiam os padrões existentes de organização e gerenciamento (CLARKE; STEWART, 1997). Em coerência, em ampla perspectiva, a interconectividade global trouxe um ambiente organizativo quase irreconhecível do ponto de vista da teoria e prática tradicionais de administração (CAPRA, 2002).

3.3.2.1.1 A resposta para esse mundo

A importância da relação entre organização em redes e seu meio é ressaltada por Agranoff e McGuire (2001). Esses autores solidificam a visão de que mudanças no ambiente em que as organizações estão inseridas (como as mudanças descritas) afetam o arranjo de

³⁷Essa coexistência de caos e ordem assemelha-se à natureza de atratores caóticos, assim como à formação deles.

organizações. Eles fazem isso por afirmarem que o ritmo e a qualidade de mudança social são os principais determinantes da emergência das formas de redes. Assim, é possível elencar as especificidades do mundo interconectado com características organizacionais. Logo, tais especificidades implicam naquelas características.

Sobre a dispersão de poder e unificação de tarefas, o alinhamento buscado entre a organização e seu meio é encontrado pela organização em rede. Assim, tal formato organizacional emerge (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Essa percepção é reforçada pelo fato de que, segundo a maioria dos estudos sobre redes, é necessária a formação das últimas em contextos locais que são caracterizados pela descentralização de sistemas decisórios (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Já em relação ao cenário marcado por dinamicidade e incerteza, ao buscar sobrevivência nesse meio, são instauradas novas estruturas organizacionais, válidas para instituições privadas e públicas (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010; KLERING; PORSSE, 2014). Essas estruturas possibilitam que organizações superem limitações individuais e obtenham maior flexibilidade (PECI, 1999). A característica fundamental dessas estruturas é o padrão em redes (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010; KLERING; PORSSE, 2014).

Referente à limitação do gerenciamento tradicional ao lidar com problemas perversos, modos de organização não convencionais surgiram para sanar essa limitação. A rede é um desses modos (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Parte da utilidade do emprego de redes para enfrentar problemas perversos fundamenta-se no fato de que esse emprego fornece conhecimento sobre a natureza do problema em questão. Também, a utilização da perspectiva de redes fornece estrutura para analisar a complexidade da solução de problemas e da tomada de decisão (VAN BUEREN; KLIJN; KOPPENJAN, 2003).

Por fim, sobre as relações de interdependência, inicialmente as referentes à oriunda de dinâmica do meio, Fleury e Ouverney (2007, p. 10) afirmam que “A existência de redes também é fruto de [...] fatores relacionados com a maior complexidade dos processos administrativos em um meio ambiente cuja dinâmica impossibilita qualquer ator isolado de controlar os processos e a velocidade das mudanças”, fatores esses já mencionados. Já sobre as interdependências de recursos, construir estratégias cooperativas se apresenta como a melhor forma de tratar tais problemas. Esses arranjos cooperativos são as redes (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

3.3.2.2 Qualidades positivas naturais de redes

A escalada do arranjo em redes também pode se dever ao fato de que decisões feitas em redes podem ser mais efetivas. Isso pois, idealmente, os componentes de uma rede não são meros diretores, mas sim fornecedores, clientes, consumidores e partes interessadas (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Quando todos os interesses relevantes são considerados na tomada de decisão, a decisão, no mínimo, obterá um acordo mais amplo, que pode ser um teste para a melhor política (LINDBLOM, 1959). Além disso, muitas partes significam muitas alternativas para sugerir e considerar, mais informação para todos usufruírem e um sistema de decisão menos limitado pelas fragilidades de pensamento efetuado por apenas um indivíduo (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). As redes ainda possuem outras características úteis para as organizações. Essas, por serem muitas, especialmente em comparação com hierarquias e mercados, serão posteriormente apresentadas em uma seção própria (3.4.8.1).

3.3.2.3 Emergência de redes em nível micro

A emergência de redes vinculadas a organizações, além de percebida em nível macro (surgimento do fenômeno em si), também pode ser descrita em nível micro (como uma organização em rede pode surgir). Nesses termos, Cigler (1999)³⁸ analisou a presunção de que o conhecimento da existência de interdependência de recursos leva a parcerias colaborativas. Como encontrou que um desastre foi o iniciador de parcerias, identificou que esse fato sugere que a dependência de recursos não basta para a ocorrência de parcerias, mas sim é necessária uma circunstância terrível (como um desastre) para disparar o pensamento (referente à conscientização) sobre tal dependência. Ou seja, a circunstância terrível proporciona a conscientização da dependência existente.

3.3.2.4 Emergência de redes em Administração Pública

Os motivos da emergência de redes no cenário da administração pública podem ser divididos em: importância do contexto; falhas em novas e em tradicionais abordagens referentes à administração pública e descentralização socioestatal. Essa descentralização refere-se, mais especificamente, à América Latina.

³⁸Esse estudo foi feito sobre precondições para a emergência de ações colaborativas em pequenas comunidades rurais. Os autores consideram que ações colaborativas envolvem fortes ligações entre membros. A parceria analisada ocorre entre organizações.

3.3.2.4.1 A importância do contexto e falhas em novas e em tradicionais abordagens referentes à Administração Pública

Estudos demonstraram que existem contextos que são marcados pela complexidade. Essa última pode ser oriunda, por exemplo, de ampla diversidade de atores e da natureza estratégica do trabalho prestado para a sociedade (ambas as fontes de complexidade presentes no âmbito da saúde). Nesse contexto, as formas tradicionais de gestão são ineficazes. Assim, ocorreu o desenvolvimento de abordagens detentoras dos elementos conceituais demandados para a análise das múltiplas dimensões presentes na dinâmica da administração pública. Aquele desenvolvimento conduziu a ideia de ser necessário repensar a teoria de redes em administração pública (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Já sobre outro motivo, a crise financeira do Estado em países desenvolvidos, motivou a propagação de estratégias de restrição de gastos públicos e, consequentemente, da restrição da ação estatal. Esse processo, conduzido por coalizões políticas de direita, gerou adoção generalizada de concepções e técnicas do *New Public Management* (NPM) ou novo gerencialismo (FLEURY; OUVÉNEY, 2007). O NPM, além de se focalizar na busca por eficiência, propunha um esvaziamento de funções estatais. Assim, o impulso de redes foi acentuado por “esforços de níveis políticos para reduzir a escala da burocracia e a extensão da responsabilidade administrativa direta pela realização de propósitos públicos” (O'TOOLE, 1996, p. 239).

Todavia, as premissas e as estratégias do NPM mostram-se insuficientes para estabelecer um paradigma duradouro na administração pública (FLEURY; OUVÉNEY, 2007). Como uma alternativa a essa limitação e simultânea continuidade à busca por eficiência, ocorreu predominância de estudos de redes ressaltando a eficiência delas. Alinhado com isso, Fleury e Ouverney (2007) afirmam que a propagação do conceito de redes pela literatura internacional em administração reflete a ênfase fornecida à eficiência dessa organização em redes, em contraste com o modo burocrático de gestão.

Além dessa falha de nova abordagem (NPM), houve incapacidade de abordagens teóricas e tradicionais em explicar padrões de comportamento de atores envolvidos. Essa incapacidade ocorreu diante de novos padrões de organização, caracterizados pela crescente fragmentação e interdependência de formatos organizacionais e inter-relacionais. Nesse contexto, por fornecer as bases teóricas mais apropriadas à descrição e análise daqueles novos padrões, o conceito de redes se apresentou como a abordagem mais promissora (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

3.3.2.4.2 A descentralização socioestatal

Na América Latina ocorreram, simultaneamente, democratização e crise fiscal. Essas duas ocorrências abriram espaço para novas formas de relação entre Estado e sociedade. Nesse contexto ascenderam novas forças políticas, destacadas as emergentes na arena social (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Dado esse cenário de maior liberdade para a sociedade, ocorreu diferenciação social, que produziu novas necessidades perante o processo de coordenação social (FLEURY; OUVÉNEY, 2007). Sobre a coordenação, são identificados dois paradigmas tradicionais. O primeiro é a coordenação política, efetuada pelo Estado de maneira centralizada, hierárquica pública e deliberada. O segundo é o paradigma de coordenação por meio do mercado, que implica ações descentralizadas, privadas, horizontais e não deliberadas (embasado no equilíbrio espontâneo de interesses) (LECHNER, 1997). Discutido o Estado, como a diferenciação social reduz a legitimidade da regulação burocrática e da centralidade daquele (para mediar conflitos sociais), “As redes de políticas representariam uma nova modalidade de coordenação”, modalidade essa distinta dos dois paradigmas mencionados (FLEURY; OUVÉNEY, 2007, p. 11).

Ainda, nesse contexto de maior liberdade social, de diferenciação social (e também de redefinição de relações entre sociedade e Estado), existiu uma multiplicidade de atores que influenciavam o processo político. Tal fato sinaliza a emergência de uma sociedade policêntrica³⁹, na qual se organizam distintos núcleos articuladores. Assim, o deslocamento do nível central do governo para o local e do deslocamento da esfera estatal para a societal resultam na formação de arranjos policêntricos. Esses são os configuradores de nova esfera pública plural (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

3.3.2.4.3 Emergência de redes no contexto da Administração em nível micro e definição de redes de políticas

Ao tratar da emergência de redes em nível micro, é possível vislumbrar que redes se formam a partir de agrupamentos de recursos e problemas políticos. Redes, assim, são vistas

³⁹“O contexto econômico em que se inserem as sociedades policêntricas é caracterizado pela complexidade e incerteza nas relações sociais, refletindo, de um lado, a aproximação, a integração e o diálogo, e, de outro, o individualismo, a competição e a intolerância” (FLEURY; OUVÉNEY, 2007, p. 11).

como padrões de relações (que apresentam certa estabilidade) entre agentes que são interdependentes (KLIJN; KOPPENJAN; TERMEER, 1995) e autônomos. Ainda, em congruência com o afirmado sobre problemas políticos, a construção de uma rede envolve a existência de um objetivo maior que se torne um valor compartilhado para além dos objetivos particulares dos componentes da rede (FLEURY; OUVENEY, 2007).

Em coerência, há um entendimento comum de que redes de políticas são:

[...] um conjunto de relações estáveis, de natureza não-hierárquica e interdependente, vinculando uma série de atores com um interesse em comum em relação a uma política e que intercambiam recursos para concretizar esses interesses, reconhecendo que a cooperação é a melhor forma de atingir os seus objetivos (BÖRZEL; 1998, p. 254).

3.4 Propriedades e tratamento de redes

A complexidade, inerente à emergência do fenômeno de redes e à própria estruturação dessas, marca as propriedades de redes. Logo, o tratamento dessas propriedades também é caracterizado por complexidade. Essa última, dado seu caráter intrínseco a redes e o alinhamento com o tema central do trabalho, é focalizada. Por ser intrínseca a redes, coexiste em administração pública e no contexto geral administrativo, assim, ao serem analisados seus aspectos essenciais, não mais é necessário efetuar tal divisão do âmbito administrativo (público e abrangente).

3.4.1 Produção de políticas

Uma das expressões da complexidade é o fato de a diversidade de percepções, atores, estratégias, objetivos, e contextos institucionais caracterizarem as instâncias decisórias das democracias contemporâneas (FLEURY; OUVENEY, 2007). Essa diversidade gera constante incerteza no processo de construção de políticas públicas como uma totalidade (VAN BUEREN; KLIJN; KOPPENJAN, 2003). Assim, diante da mesma diversidade, os modelos tradicionais de tomada de decisão, que concebem a produção de políticas como um ciclo lógico de etapas planejadas de maneira sucessiva, tornam-se insuficientes (FLEURY; OUVENEY, 2007). De acordo com Fleury e Ouverney (2007), o estabelecimento de fases clássicas de construção de políticas não mais ocorre linearmente devido a três tipos de incertezas:

- Incerteza substantiva, fundamentada nas divergências em relação às soluções de problemas (diversas partes buscam soluções quase sempre contrastantes);

- Incerteza estratégica, resultante da imprevisibilidade do comportamento estratégico dos diversos atores envolvidos e da dispersão de centros decisórios e da fragmentação de jogos interativos;
- Incerteza institucional, decorrente da diferenciação e sobreposição de arcabouços regulatórios e contextos jurisdicionais.

Assim, ao invés de o desenvolvimento de políticas ocorrer de maneira estruturada e em fases predeterminadas, tal desenvolvimento ocorre fundamentado em rodadas de jogos interativos, efetuados em arenas decisórias, entre diversos atores (VAN BUEREN; KLIJN; KOPPENJAN, 2003). Desse modo, pela interação entre diversos indivíduos, dos quais nenhum está no controle, o resultado de ações em rede tende a ser emergente (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Sobre os jogos interativos, os agentes envolvidos buscam utilizar estratégias com o intuito de influenciar o resultado das políticas. Desse modo, torna-se essencial a existência de maior capacidade decisória em redes; quanto maior tal capacidade, maior o poder do ator para mobilizar recursos para defender seus interesses (FLEURY; OUVENEY, 2007).

Atrelada à produção de políticas, a seleção de problemas e suas soluções só podem ser determinadas em um processo de interação (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018), que caracteriza essa ação como propensa à complexidade. A mesma conclusão é válida para a tomada de decisão em redes.

3.4.2 Tomada de decisão

Uma série de fatores contribui para a complexificação dos problemas de políticas públicas. Exemplo desses fatores são a globalização financeira e a descentralização político-administrativa. Tais fatores colaboram para a dispersão e sobreposição de centros de tomada de decisão subjacentes ao desenvolvimento de políticas públicas. Assim, há abordagem de redes que as conceitualizam como sistemas de centros decisórios, sistemas esses subjacentes às políticas públicas, situados dentro e fora do Estado (FLEURY; OUVENEY, 2007). Para esclarecer propriedades da tomada de decisão em redes, ela é comparada com a mesma ação efetuada em uma hierarquia.

Quadro 6 – Comparação de tomada de decisão em redes e em hierarquias

	<i>Hierarquia</i>	<i>Rede</i>
1	Estruturada e linear	Desestruturada e não-linear
2	Faseada	Aleatória
3	Uma única arena: o processo apresenta pontos de início e conclusão claros	Múltiplas arenas: não há um único ponto de início ou de conclusão
4	O conteúdo do problema é estável	O conteúdo do problema altera-se
5	Demonstra incentivos para vislumbrar o problema como estruturado	Demonstra incentivos para vislumbrar o problema como desestruturado
6	Constância e previsibilidade	Inconstância e imprevisibilidade

Fonte: Adaptado de Brujin e Heuvelhof (2018, p. 10).

Caso um indivíduo esteja no comando, o processo de tomada de decisão pode ser estruturado e linear (linha um). Todavia, caso o processo de tomada de decisão ocorra em uma rede, distintos atores são interdependentes⁴⁰ entre si, assim, devem agir de maneira conjunta para atingir seus próprios objetivos. Em coerência, a tomada de decisão também deve ser coletiva para que seja efetiva. Apesar de serem necessárias todas essas ações coletivas, atores possuem distintos interesses, o que intensifica a complexidade do cenário. Assim, em redes, a tomada de decisão é errática e desestruturada (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Os períodos em que ocorrem as tomadas de decisões também são irregulares (linha dois), isto é, não são conhecidos termos e inícios das rodadas do processo de tomada de decisão. Já a linha três se refere ao fato de que, em redes, a tomada de decisão, frequentemente ocorre em distintas arenas; esses distintos processos de tomadas de decisão estão entrelaçados. Assim, mesmo que o interesse de determinado indivíduo em dado contexto seja distinto ao de outro ator, o último pode cooperar com o primeiro com o intuito de obter reciprocidade da cooperação em outro cenário (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

A linha quatro trata das aparentes mudanças que o conteúdo no problema demonstra com o passar do tempo (KINGDON, 1984). De maneira mais precisa, a falta de apoio da rede a um problema que um ator formulou pode gerar a redefinição do problema pelo seu autor (ou seja, soluções podem determinar problemas). Assim, caso um ator perceba que determinado problema não possui solução, pode passar a priorizar outro problema considerado solucionável (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

⁴⁰Interdependências podem levar a decisões ruins. Isso pois decisões, em grande medida, são tomadas pelo equilíbrio de poder da rede, e não pela justiça (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018, p. 16).

A linha cinco diz respeito ao escopo do problema e à quantidade de informação necessária para compreendê-lo. Em escopo restrito, os fatos e o consenso sobre eles são claros. Todavia, aumentar o escopo de um problema torna necessária maior quantidade de informações, o que faz com que o problema se torne desestruturado. Por exemplo, um carro cruzar um semáforo em sinal vermelho constitui um claro crime (escopo restrito), todavia, ao considerar que era madrugada e havia um carro perseguindo o infrator (aumento de escopo), o consenso do cenário torna-se menos rígido. Assim, quanto mais desestruturado um problema, mais espaço de manobra há para as partes (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Uma rede essencialmente envolve diversas partes, e assim, tende a apresentar grande quantidade de informações.

Por fim, em uma hierarquia, os objetivos e condições iniciais determinam, em grande parte, o progresso da tomada de decisão (linha seis). Todavia, o processo de tomada de decisão em uma rede é (em princípio) imprevisível. É como se as dinâmicas de redes convidassem os indivíduos a adaptarem seus próprios comportamentos àquelas dinâmicas. Isso reforça as últimas (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Mesmo tomada uma decisão, a dinâmica flexível de redes pode afastar os participantes dos objetivos iniciais (FLEURY; OUVENEY, 2007). Dada toda a análise do quadro 6, é constatado que a imprevisibilidade da tomada de decisão é a regularidade mais importante dessa última (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

3.4.3 Especificação e tratamento de incertezas no processo de tomada de decisão

Existem diversas abordagens que lidam com as incertezas de redes. A maioria daquelas trata do processo de institucionalização (composição da estrutura da rede) (FLEURY; OUVENEY, 2007) e de coesão (entre agentes e ações).

3.4.3.1 Institucionalidade e interdependência

Como a tomada de decisão é um processo de interação ocorrente entre as partes envolvidas, aquela em redes é, em grande parte, dependente do gerenciamento do processo de interação entre as partes (BRUJIN; HEUVELHOF; VELD, 2010). Sobre tais interações, um pré-requisito necessário para que a rede possa explorar suas capacidades especiais é a existência de uma institucionalidade mínima. Além de ser pré-requisito nesse contexto, tal institucionalidade combina, explora e potencializa as várias capacidades dos componentes da

rede e possibilita o desenvolvimento da rede como estrutura singular, que é capaz de se autorregular e se transformar de maneira rápida (FLEURY; OUVENEY, 2007).

Assim, de acordo com a literatura de administração pública, rede é definida como “um campo organizacional cuja composição pressupõe o desenvolvimento de uma estrutura”, dado que a estruturação envolve o processo de institucionalização da interdependência entre os atores componentes da rede. A estrutura da rede se desenvolve a partir dos fatores que impulsionam a interdependência entre os componentes da rede (FLEURY; OUVENEY, 2007, p. 75-76). Os padrões de interdependência são influenciados pela natureza dos recursos (que podem ser legais, políticos, organizacionais e financeiros) na rede (FLEURY, OUVENEY, 2007) e determinados pela distribuição dos recursos (MCGUIRE, 2002).

Assim, em suma, interações entre componentes da rede devem ser gerenciadas. Já a rede, sob a ótica da interdependência (determinada pelos recursos) entre seus componentes, deve ser institucionalizada.

3.4.3.1.1 Propriedades vinculadas à institucionalidade e à interdependência

Com a formação de institucionalidade direcionada para o aprofundamento da interdependência, as relações entre os componentes alteram seus padrões de interdependência. Os padrões, antes compostos apenas por relações de cooperação interorganizacional, passam a ser de relações de coordenação interorganizacional (FLEURY; OUVENEY, 2007). Coordenação organizacional é um processo caracterizado por duas ou mais organizações criarem e/ou adotarem regras decisórias com o intuito de gerenciar o ambiente comum de atividade de tais organizações (ROGERS; WHETTEN, 1982). Nesse padrão de interdependência, há maior estabilidade de relações do que no padrão de cooperação (FLEURY; OUVENEY, 2007). Comparações entre cooperação e coordenação são demonstradas no quadro 7.

Quadro 7 – Comparação de padrões de interdependências

Crítérios	Cooperação	Coordenação
<i>Regras e formalidade</i>	Sem regras formais	Construção coletiva de regras formais
<i>Metas e atividades enfatizadas</i>	Ênfase nas ações e objetivos individuais	Ênfase nas ações e objetivos coletivos
<i>Implicações em termos de articulações verticais e horizontais</i>	Sem implicações	Transformação das articulações verticais ou horizontais
<i>Nível dos recursos envolvidos</i>	Baixo nível de intercâmbio de recursos	Alto nível de intercâmbio
<i>Atores diretamente envolvidos</i>	Poucos atores – presença de atores dos níveis operacional e tático (pouco frequente)	Grande quantidade de atores – envolvimento dos atores dos níveis tático e estratégico
<i>Compartilhamento de poder</i>	Pouco compartilhamento	Maior grau de compartilhamento

Fonte: Adaptado de Rogers e Whetten⁴¹ (1982, p. 13) apud Fleury e Ouverney (2007, p. 78).

Todavia, a relação entre interdependência e institucionalidade não é limitada a simplesmente quanto maior a segunda, melhor a primeira. Por exemplo, a ampliação do caráter formal de regras para aspectos operacionais específicos implica em adoção de padrões burocráticos (de regulação de trabalho conjunto) incompatíveis com a dinâmica de redes (FLEURY; OUVERNEY, 2007).

Também sobre o equilíbrio de institucionalidade, estudos sobre redes em administração pública analisam contextos formados por agentes que possuem autonomia decisória. Nesses contextos, segundo aqueles estudos, é possível dar respostas eficazes e eficientes aos complexos problemas de política pública (como saúde e educação) apenas caso os agentes se associem em padrão de interdependência em rede (FLEURY; OUVERNEY, 2007), descrito no quadro 8.

⁴¹ROGERS, D. L.; WHETTEN, D. A. **Interorganizational coordination**: Theory, research, and implementation. Ames: Iowa State University Press, 1982.

Quadro 8 – Elementos institucionais de um padrão de interdependência em rede

Dimensões de análise	Baixa institucionalidade	Interdependência em rede	Institucionalidade elevada
<i>Foco gerencial</i>	Atividades particulares (organizacionais)	Atividades complementares	Supremacia do caráter coletivo das atividades
<i>Atores envolvidos e amplitude de inserção</i>	Nível operacional e tático; inserção limitada	Nível operacional, tático e estratégico; ampla inserção de atores	Nível tático e estratégico; inserção coletiva
<i>Nível de formalização</i>	Poucas regras	Construção coletiva de regras gerais e interativa de regras operacionais	Alta formalidade
<i>Recursos envolvidos</i>	Poucos recursos comprometidos; gestão dispersa dos recursos	Nível médio de recursos comprometidos; desenvolvimento de estratégias de mecanismo de gestão compartilhada dos recursos	Domínio elevado de recursos por um ator específico ou poucos atores
<i>Foco de poder</i>	Disperso e exercido de forma direta; tende a enfatizar as possibilidades de cada ator de acordo com as assimetrias de domínio de recursos	Construção de formas e estratégias de compartilhamento decisório; foco de poder descentralizado e compartilhado	Poder centralizado
<i>Foco de controle</i>	Foco fiscalizador disperso em diversos processos de intercâmbio	Foco complementar de sistemas articulados; caráter estratégico de suporte à dinâmica gerencial	Centralização de informações e mecanismo de racionalidade sistêmica, típica de hierarquias; ênfase na dimensão fiscalizadora do controle
<i>Objetivos enfatizados</i>	Foco principal nas metas singulares de cada organização; realização de objetivos isolados e sem coordenação	Construção de um compromisso em torno de objetivos maiores e a partir dos objetivos particulares de cada ator ou organização	Ênfase exagerada nos aspectos coletivos podendo centralizar atividades e processos, em detrimento dos objetivos particulares
<i>Instâncias estratégicas de coordenação interorganizacional</i>	Ausentes ou pouco desenvolvidas; articulação insipiente da base de recursos; ausência de estratégia de	Inseridas no grupo da rede; definição flexível e compartilhada de estratégias, mecanismos e parâmetros de	Estruturadas e estabelecidas fora e acima da rede; definição externa e mais rígida de estratégias, mecanismos e

	racionalidade sistêmica	articulação da base de recursos	parâmetros de articulação da base de recursos
<i>Espaços internos de pactuação</i>	Ausentes ou pouco desenvolvidos; predomínio de incerteza estratégica	Inseridas no grupo da rede; processo de aprendizagem estratégica; definição e redefinição constante e compartilhada de objetivos; formação e redefinição de projetos hegemônicos	Estabelecidos fora do grupo da rede; coordenação política centralizada; definição externa de objetivos, estratégias e projetos de política pública
<i>Canais externos de articulação</i>	Apenas informalmente desenvolvidos (articulação informal); predomínio de incerteza institucional	Processo de definição compartilhada dos parâmetros mínimos relativos ao formato institucional da rede; homologação das estratégias e consensos construídos ao nível da rede	Determinação externa dos principais parâmetros, estratégias e mecanismos de coordenação da rede

Fonte: Adaptado de Ouverney (2005, p. 99–100).

3.4.3.1.2 Interdependência, institucionalização e relações externas

O padrão de interdependência emerge entre agentes autônomos que possuem relações estáveis de interdependência entre si (tais agentes também desenvolvem institucionalidade direcionada especificamente para o aprofundamento da interdependência existente). Ou seja, aquele padrão emerge em um espaço interorganizacional que obtém densidade pela existência de constante articulação. A última ocorre em torno da formulação estratégica na resolução de problemas de política pública e do planejamento deliberado da divisão do trabalho (FLEURY; OUVENEY, 2007). Assim, ao vislumbrar as relações (articulações) como processo e, o padrão de interdependência, como estrutura, a emergência do último enquadra-se no pensamento processual (CAPRA, 2006; CAPRA; LUISI, 2014).

Ainda, essa emergência três possui especificidades, todas relacionadas com a institucionalização. A primeira constitui-se na demanda de bases (institucionais) de suporte organizacional que apresenta o processo de institucionalização. Essas bases são “[...] as instâncias de estratégia, os espaços internos de pactuação e os canais externos de articulação” (FLEURY; OUVENEY, 2007, p. 102) e servem para “[...] a formulação de estratégias de

racionalidade sistêmica, de planejamento e de suporte político decisório” (FLEURY; OUVÉNEY, 2007, p. 103).

A segunda especificidade é caracterizada pela essencialidade da instituição de regras para a institucionalização da rede. Essa definição de regras formais, que se manifestam como parâmetros mínimos de interação e ação coletiva, fornecem estabilidade à rede (FLEURY; OUVÉNEY, 2007). A estabilidade também é resultante do fato de que novas regras (emergentes, criadas nos jogos de interação⁴²), normalmente, se desenvolvem de maneira gradual (KLIJN, 1996). Assim, não apenas o processo de institucionalização se desenvolve por meio de interações constantes, mas as regras também (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Por fim, a terceira especificidade indica que a institucionalidade desenvolvida pela rede (direcionada para o aprofundamento da interdependência), se desenvolve em torno da articulação estratégica voltada para a manipulação do ambiente em que a rede opera. De maneira mais grave, afirma-se que a plena institucionalização da rede demanda a construção de relações de interdependência e troca de recursos com a macro estrutura em que encontra-se inserida (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Ainda, relações com elementos externos à rede demonstram outros aspectos positivos para a última. Por exemplo, o desenvolvimento de canais subjacentes às relações externas, canais esses externos de articulação, possibilita articulações com importantes instâncias de decisões externas e com outras redes de atores. Caso a composição de uma rede não abranja todos os atores relevantes, a efetividade da organização da rede é limitada, assim, é importante efetuar aquelas articulações (MANDELL; STEELMAN, 2003). Ainda, conexões externas (mais especificamente, com outras redes) podem ser úteis na busca de recursos, como políticos e econômicos (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Em suma, aspectos atrelados às relações externas proporcionam coesão dos elementos interagentes. Tais aspectos são relações de interdependência e troca de recursos e a convergência natural de objetivos (que é o ponto de partida para o estabelecimento de canais externos de articulação) (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

3.4.4 Coesão

⁴²Como as regras são estabelecidas pelos agentes por meio de interações, as primeiras também podem ser mudadas pelas interações. Caso as regras mudem, também mudam os arcabouços e suposições empregados pelos atores para elaboração de estratégias (KOPPENJAN; KLIJN, 2004).

A coesão coopera na compreensão de motivos que fazem com que agentes não legalmente atrelados em laços de autoridade trabalhem juntos (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Para manter a união da rede, contribui o bem coletivo, manifesto em crença compartilhada ou propósito em comum (ALTER; HAGE, 1993). Mandell (1999) descreve que, caso métodos de controle e coordenação não estejam operativos, o comprometimento com o todo mantém a rede unida. Nessa visão, a rede em si é mais crítica do que seus componentes. Assim, o foco nos componentes demonstra relevância apenas para a compreensão de como cada um daqueles colabora para o esforço total (PROVAN; MILWARD, 1991).

Ainda, a dependência mútua é outra explicação para coesão. Dessa dependência é destacada a orientada para a disponibilidade de recursos (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Já Bardach (1998) ressalta a liderança como fator central para manter a rede unida. O líder elicit objetivos em comum, cria uma atmosfera de confiança e direciona energia de acordo com um plano estratégico⁴³.

Também, é comumente aceito que coesão seja existente entre pessoas por causa de confiança (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). A última, em comportamento coletivo, é ligada com obrigação. É dito que obrigações fiduciárias são essenciais para manter uma rede unida pois elas envolvem a obrigação de atender a preocupações de outros além dos limites de transações mensuráveis (BARBER, 1983).

3.4.5 Controle em redes

A existência de fenômenos além do poder de mensuração não é uma ocorrência rara em redes. Assim, há dificuldades em estabelecer responsabilização no gerenciamento público de rede (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001).

Essas dificuldades se fundamentam em três características de redes. A primeira é a complexidade atrelada às redes. Isso pois essas são organizações desenvolvidas para solucionar problemas complexos de política pública. Assim, esses problemas, por sua própria natureza, limitam a definição de prazos e expectativas de metas (ACAR; ROBERTSON, 2004; O'TOOLE, 1997a).

A segunda característica é a inexistência de uma única autoridade em redes (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001; ACAR; ROBERTSON, 2004): todos estão, de certo modo,

⁴³Tais ações do líder não são talentos ou atributos pessoais, mas sim são papéis em um sistema de interações estratégicas (AGRANOFF; MCGUIRE, 2011).

no comando, assim, todos são parcialmente responsáveis. Logo, todos os participantes da rede aparentam ser passíveis de serem responsabilizados, todavia, nenhum o é absolutamente (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Assim, as responsabilidades são muito diluídas (FLEURY; OOVERNEY, 2007) e o monitoramento é tipicamente difuso e incerto (O'TOOLE, 1997a).

A última característica fundamenta-se na não captação dos efeitos de esforços conjuntos por avaliação embasada em metas particulares (ACAR; ROBERTSON, 2004). Logo, é essencial monitorar o trabalho coletivo (FLEURY; OOVERNEY, 2007).

Esse enfoque para o funcionamento integrado é expresso frequentemente sobre redes; desde o cenário de sua emergência até seu foco em decisões conjuntas. Por causa desse foco, em redes é mascarado o potencial para comportamento coercitivo no seu gerenciamento (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Isto é, estruturação e comportamento integrado podem mascarar relações de grande heterogeneidade de poder.

3.4.6 Poder

É possível que a heterogeneidade de poder exista em redes de políticas (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001), apesar de as últimas serem caracterizadas como compostas por relações iguais, interdependentes e padronizadas (KLIJN, 1996). Isso é possível pelos papéis que componentes da rede exercem (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001) e posições que ocupam (BURT, 1992). Além das posições e papéis, diferenças nas dependências de recursos (RHODES, 1981) podem levar a diferenças de poder. Assim, a configuração de poder tende a reproduzir a configuração da distribuição de recursos (FLEURY; OOVERNEY, 2007).

Ainda, o poder se relaciona com dois aspectos de redes já apresentados. O primeiro, referente à coesão da rede, fundamenta-se no fato de que, em rede intergovernamental, o poder de uma organização aumenta de acordo com a sua evolução para atingir importância essencial em preservar a rede (MANDELL, 1990). O segundo diz respeito à importância das conexões externas e afirma que o poder depende das ligações de cada organização com um mundo mais amplo de organizações. Também, o poder de cada membro dentro da rede depende da importância de suas funções para a rede (FLEURY; OOVERNEY, 2007).

Por fim, a movimentação de poder pode impedir a criatividade sinérgica que relações recíprocas devem produzir (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Também, o poder em redes pode facilitar ou inibir atividades cooperativas (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Ainda, atores bem conectados (que é uma medida de importância, que pode ser interpretada como poder, na teoria de redes), com ampla gama de contatos, aparentam exercer papéis cruciais para a coordenação

de parceiros adequados em torno de problemas específicos (BARDACH, 1998), ou seja, o poder (expresso pela conectividade) influencia em tal coordenação.

A especificidade de poder em redes colabora para a possível necessidade de transmutação de noção de gestão. Isso em relação a ações orientadas pela premissa hierárquica, uma vez que elas podem levar a resultados não apenas ineficazes, mas também contraproducentes (O'TOOLE, 1997a).

3.4.7 Gerenciamento de redes

Por mais de sessenta anos, descrições de livros didáticos sobre gerenciamento fundamentaram-se no simples acrônimo POSDCORB⁴⁴ para destilar atividades gerenciais em sete tarefas básicas (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Todavia, gestão transorganizacional (gestão de redes) e gestão de organização são diferentes em pelo menos dois aspectos. O primeiro constitui-se no fato de o empoderamento em redes ser fundamentado não em autoridade, mas sim em informação. O segundo aspecto diz respeito às estruturas organizacionais existentes em gerenciamento de redes serem variáveis dependentes para sistemas de redes (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Dadas essas diferenças, as capacidades necessárias para operar com sucesso em redes são distintas das capacidades necessárias para gerenciar uma única organização (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001); também, o gerenciamento de rede é uma função distinta do gerenciamento hierárquico (KETTL, 1996; MILWARD, 1994).

A última distinção manifesta-se na comum compreensão de o gerenciamento e liderança em redes demandar, ao invés de comando e controle, princípios de “orientação suave⁴⁵” (WINDHOFF-HÉNTIER, 1992). Como materialização desses princípios, comportamentos gerenciais em redes (e os melhores momentos para utilizá-los) foram identificados por acadêmicos. Agranoff e Mcguire (2001) sugeriram agrupamento de comportamentos de gerenciamento de redes para resumir a literatura.

Esses comportamentos, alinhados com os princípios de orientação suave, tomam vantagem da propensão de se autogerenciar redes. Assim aqueles comportamentos usam esforços e recursos de maneira mínima (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001) e agem “balanceando

⁴⁴De planejamento, organização, provimento de cargos (*staffing*), direção, coordenação, informação e orçamentação (*budgeting*).

⁴⁵Traduzido de “*soft guidance*”.

forças sociais e interesses e possibilitando que atores sociais e sistemas se organizem por conta própria” (KOOIMAN, 1993, p. 256).

São quatro os grupos encontrados por Agranoff e McGuire (2001). O primeiro envolve as tarefas gerais de *ativação*. Ativação, de acordo com Agranoff e McGuire (2001), inclui a identificação de participantes para a rede (LIPNACK; STAMPS, 1994), assim como das partes interessadas na rede (GRAY, 1989); também envolve explorar recursos, conhecimentos e habilidades dessas pessoas (AGRANOFF; MCGUIRE, 1999). Como recursos (dinheiro, informação e perícia) podem ser mecanismos integradores de redes, a ativação é um componente crítico do gerenciamento de redes. Ainda, a ativação seletiva de potenciais participantes na rede (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001) é um pré-requisito essencial para o sucesso da formulação e implementação de políticas em cenário interorganizacional. Caso feita corretamente, tal ativação é baseada na identificação correta de “participantes necessários” (SCHARPF, 1978). A ativação é utilizada durante a formação da rede e também como uma ferramenta gerencial, caso a efetividade decaia (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001).

O segundo grupo de comportamentos encontrado é utilizado nos mesmos momentos que a ativação. Esse segundo grupo é consistente com a tarefa geral de *enquadramento*⁴⁶. Essa tarefa, em comparação com a ativação, é mais sutil, todavia, tão necessária quanto (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Enquadramento, para Agranoff e McGuire (2001), envolve influenciar e estabelecer regras de operação na rede (MANDELL, 1990; KLIJN, 1996), influenciar os valores e normas predominantes da rede (O'TOOLE, 1997b) e alterar as percepções dos participantes da rede (TERMEER; KOPPENJAN, 1997).

Referente à última alteração, como a ação de atores é dada por suas expectativas em relação aos outros atores (FLEURY; OUVÉNEY, 2007), o enquadramento é de vital importância para o gerenciamento de redes. Ainda, as percepções (relacionadas com a natureza e a história da rede) caracterizam redes (KLIJN; KOPPENJAN; TERMEER, 1995).

Essas percepções, que dizem respeito às interações ocorrentes na rede, assim como às regras de interação entre participantes, são maleáveis. É isso que torna possível a alteração de percepções pelo enquadramento (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Ele pode ser efetuado em uma rede, segundo Agranoff e McGuire (2001), pela introdução de novas ideias à última (KICKERT; KOPPENJAN, 1997), introdução essa que cria ou celebra um propósito ou visão compartilhados (O'TOOLE, 1997b; LIPNACK; STAMPS, 1994).

⁴⁶Traduzido de “*framing*”.

Ainda, uma espécie de enquadramento fragmentado pode ser feita em redes. Essa possibilidade fundamenta-se no fato de a rede apresentar reinterpretação como uma característica da tomada de decisão. A reinterpretação é o fenômeno de distintos atores poderem interpretar a mesma ação de maneira distinta (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Como a percepção é maleável, ela pode ser manejada para apresentar distintas características em cada parte da rede.

Já o terceiro comportamento gerencial é a *mobilização*. Ele fundamenta-se na indicação que a literatura faz da necessidade de gerenciadores de redes de induzir os indivíduos da rede a se comprometerem (e manterem esse comprometimento) com o empreendimento conjunto. Assim, mobilização envolve construção de compromisso entre os participantes da rede (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Para efetuar a mobilização é requerida visão do todo estratégico e, baseado nesse todo, habilidade para desenvolver e alcançar um complexo de objetivos comuns (MALDELL, 1988).

Por fim, o quarto comportamento gerencial é a *sinetização*, que visa reforçar condições para que ocorram interações produtivas entre os componentes da rede. Assim, gerenciadores devem harmonizar tais componentes para que o propósito estratégico da rede seja alcançado. Alinhado com essa harmonização, os gerenciadores de redes buscam aumentar a cooperação na mesma. Como o resultado do processo da rede “deriva da interação entre as estratégias de todos os atores envolvidos” (KLIJN; TEISMAN, 1997, p. 99), a condução de processos da rede, descrita pela sinetização, é equivalente ao gerenciamento de jogos (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001).

Assim, o foco do gerenciador de rede são relações e interações que resultam na concretização do propósito da rede (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001). Em coerência, importantes comportamentos gerenciais são promover e facilitar a interação entre os componentes da rede (KICKERT; KOPPENJAN, 1997; AGRANOFF; MCGUIRE, 1999a); reduzir a incerteza e a complexidade por meio de promoção de troca de informações (O'TOOLE, 1998); ajudar a rede a ser auto-organizadora (INNES; BOOHER, 1999) e engendrar uma comunicação efetiva entre os componentes da rede (MANDELL, 1990).

3.4.7.1 Utilidades de relações superficiais e relações profundas

As relações ente os componentes da rede ainda podem ser visualizadas sob outra ótica (que engendra perspectivas gerenciais). Nessa, há distinção teórica de redes de capital social

em dois tipos: de vínculo⁴⁷ e de ponte⁴⁸ (PATULNY; SVENDSEN, 2007), onde capital social é compreendido como normas e trata de cooperação social. As primeiras envolvem fortes conexões (BERARDO; SCHOLZ, 2010) e consistem-se em redes que olham para si mesmas e tendem a reforçar grupos homogêneos (PUTNAM, 2000). Já as redes de ponte envolvem conexões fracas (BERARDO; SCHOLZ, 2010), são abertas, olham para o ambiente exterior e abrangem pessoas de distintas divisões sociais (PUTNAM, 2000).

Redes de ponte demonstram diversas utilidades. Por exemplo, conexões fracas facilitam comunicação e, assim, facilitam o benéfico fluxo de informações e materiais entre grupos (GRANOVETTER, 1973). Também, a ausência dessas redes pode ser um indicador de falha no governo (PUTNAM, 1993).

Já redes de vínculo são úteis perante o esforço necessário para execução do intuito da rede cooperativa: quanto maior o esforço, maior a força da conexão necessária (FLEURY; OUVENEY, 2007; AIRAKSINEM, 2003). Maior intensidade de vínculos também impulsiona o processo de institucionalização das relações de intercâmbio (FLEURY; OUVENEY, 2007), consolidando-as. Ainda, incertezas (institucionais, estratégicas e cognitivas⁴⁹) demandam intensificação de interações (relações) entre as partes para que se lide com decisões de maneira adequada (VAN BUEREN; KLIJN; KOPPENJAN, 2003).

Todavia, o excesso de vínculos produz propagação de desconfiança, nepotismo, falta de cooperação e isolamento de grupos (SVENDSEN, 2006). Nesse cenário, dado que a criação de arestas tende a custar recursos e, assim, consciente de que tal criação deve seguir algum critério, Patulny e Svendsen (2007) e Svendsen e Svdsen (2004) afirmam que parece ser útil equilibrar capital social atrelado a vínculo com o que diz respeito à ponte.

3.4.7.2 Estratégias dos componentes da rede: conexões fortes e fracas

Além das possíveis ações que gestores de redes podem tomar, existe recomendação para ações dos componentes da rede. Atrelada à complexidade e imprevisibilidade, tal recomendação em rede não possui intuito de obter controle rígido sobre o futuro, mas sim opera no nível de probabilidades. Essa recomendação é o aumento da conectividade (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018), isto é, aumento de grau.

⁴⁷Traduzido de “*bonding*”.

⁴⁸Traduzido de “*bridging*”.

⁴⁹Falta de conhecimento científico sobre a natureza de problemas e suas soluções. Essa falta de conhecimento é atrelada à existência de numerosas relações causais que são interconectadas e difíceis de identificar (VAN BUEREN; KLIJN; KOPPENJAN, 2003).

A grande conectividade proporciona segurança no sentido de ampliar o leque de alternativas de parceiros. Assim, caso um ator efetue defecção, o que sofreu essa ação ainda possui outras opções de atores que podem apoiá-lo (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Também, pela arquitetura reticular, somada à particularidade de problemas e soluções de atores, problemas e soluções, podem, ao acaso, conectarem-se. Assim, quanto maior o número de conexões, maior a probabilidade de um ator aproveitar essas ocorrências (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018). Por fim, a redundância de conexões pode melhorar a confiabilidade da informação (COLEMAN, 1988), dado que a redundância possibilita a checagem de informação por distintas fontes (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Todavia, novamente ao considerar os custos de efetuar conexões, elas não devem ser feitas ao acaso. A hipótese do risco coopera para tomar decisões sobre conexões. Essa analisa preferências de conexões dado o nível de risco de defecção que caracteriza a rede (BERARDO; SCHOLZ, 2010). Tal hipótese, assim como as redes de capital social, distinguem as conexões entre fortes e fracas.

Caso a cooperação envolva baixos riscos, a hipótese de risco constata que atores tendem a visar à efetuação de conexões fracas. Também nesse contexto, intermediadores centrais são mais valorizados, dado que predominam problemas de coordenação (ao invés de confiança) e, assim, as estruturas de redes buscadas proporcionam aos atores métodos eficientes de troca de informação para assistir na coordenação (BERARDO; SCHOLZ, 2010).

Já para casos que possuem maiores riscos de defecção, a credibilidade da informação pode se tornar mais importante do que a eficiência da transmissão de informação. Assim, relações redundantes tornam-se mais valiosas, dado que aquelas proporcionam maior confiabilidade à informação obtida. Logo, buscam-se relações fortes. Também nesse cenário, reciprocidade e grupos que demonstram possibilidade de checagem de informação são preferidos (BERARDO; SCHOLZ, 2010).

Ainda, dada a intensa necessidade de efetuar monitoramento e aplicar sanções, redes densas e detentoras de relações redundantes tendem a ser preferidas, uma vez que reduzem custos daquelas ações (COLEMAN, 1988; PUTNAM, 1993). No extremo da conectividade, um grupo completamente conectado, devido ao grande conhecimento do comportamento dos atores componentes do grupo e pelas possibilidades de efetuar punições coletivas, pode prevenir defecção de maneira mais efetiva (BERARDO; SCHOLZ, 2010).

3.4.8 Utilidade organizacional da complexidade de redes

Existem aspectos da complexidade de redes que são úteis para o âmbito organizacional. Uma dessas é a diversidade, que significa que atores em uma rede respondem (de maneira positiva) a distintos tipos de intervenção. Isso implica que, assim como um alvo amplo é mais fácil de ser atingido do que um estreito, a diversidade aumenta as probabilidades que intervenções obtenham, ao menos em parte da população, bons resultados. Isso é de grande utilidade dado que, para a resolução de determinados problemas, é necessário apenas que número pequeno de atores respondam positivamente à ação interventora na rede. A diversidade também dificulta a cooperação entre indivíduos, que pode ser positivo para um ator que intervém na rede, considerando que é difícil que grande grupo se reúna contra tal intervenção. Logo, a diversidade também pode ser utilizada para efetuar a estratégia de dividir e conquistar (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Similar à diversidade, a participação de diversos atores no processo de tomada de decisão pode gerar, ao promover distintos ângulos de visão, enriquecimento do conteúdo da decisão tomada (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018; FLEURY; OUVÉNEY, 2007) e maior mobilização de recursos (FLEURY; OUVÉNEY, 2007). Ainda sobre a tomada de decisão, pelo fato de ela ser feita (em relação a objetivos e estratégias) por consensos entre componentes da rede, obtém-se maior compromisso com as metas compartilhadas (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Interdependência também é um aspecto de redes vinculado à complexidade que é útil organizacionalmente. Primeiro, interdependências tendem a fazer com que partes cooperem mais (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018), como demonstrado por Axelrod (1984), Nowak (2006a) e Nowak (2006b). Também, como diversos atores são dependentes uns dos outros para diversas situações distintas, a probabilidade de ocorrer um impasse é menor; existem maiores possibilidades de acordos de trocas (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Redes ainda apresentam aspectos positivos em relação à economia (PODOLNY; PAGE, 1998), dado que a conexão entre organizações possibilita a dispersão de custos. Isso ocorre pela divisão do valor de novos recursos adquiridos e pelas trocas de recursos já existentes no grupo (FLEURY; OUVÉNEY, 2007). Isso explica o vínculo entre eficiência e redes, que possibilitou expansão das últimas no âmbito administrativo (em especial, na gestão pública).

Redes também demonstram utilidade como uma abordagem instrumental de análise. Tomar um arranjo interorganizacional (ou até uma unidade organizacional) como uma rede possibilita a percepção de seus atores em suas interações e propósitos (LOIOLA; MOURA, 1996). Desse modo, é percebida a dinâmica do processo, desfazendo, assim, divisões artificiais entre ator e estrutura e também entre os ambientes interno e externo (FLEURY; OUVÉNEY,

2007). Assim, aquela abordagem de análise por redes parece contribuir para a superação de limites de abordagens atomistas e até sistêmicas (LOIOLA; MOURA, 1996).

3.4.8.1 Vantagens funcionais de redes perante mercados e hierarquias

Algumas propriedades que diferenciam redes de mercados e hierarquias constituem utilidades organizacionais enquadradas na perspectiva da complexidade. Uma dessas constitui-se no fato de redes facilitarem o arranjo de atores de modo que se enquadram entre a abertura do mercado e a rigidez da hierarquia (AGRANOFF; MCGUIRE, 2001).

A flexibilidade, inerente à dinâmica de redes e impulsionada pela autonomia das partes, capacita as últimas a uma gestão adaptativa, articulando ações de planejamento, execução, retroalimentação e redesenho. Nesse cenário, o monitoramento não é utilizado como instrumento de controle, mas sim de gestão (FLEURY; OOVERNEY, 2007).

À flexibilidade, redes combinam estabilidade. A estabilidade de elos entre organizações gera canais permanentes de colaboração para o aprimoramento da qualidade de produtos e serviços. O arranjo estável e flexível transforma-se com a dinâmica da rede, assim, a dinâmica flexível de redes permite permanente construção e desconstrução de padrões de interações e dos próprios componentes. Os últimos, que são distintos atores, mesmo quando se igualam como partes de uma mesma estrutura, conservam sua diversidade (FLEURY; OOVERNEY, 2007).

Ainda atrelada à estabilidade, redes são capazes de formar uma estrutura que é capaz de ofertar suporte organizacional indispensável à decisão, planejamento e ação coletiva. O equilíbrio entre tal estrutura e a flexibilidade torna a rede um meio que é especialmente apropriado para resolver complexos problemas de política pública. Também é esse equilíbrio que proporciona às redes maior capacidade resolutiva em comparação às organizações burocráticas centralizadas e aos instáveis mercados (FLEURY; OOVERNEY, 2007).

Redes ainda apresentam outras vantagens em comparação com mercados e hierarquias. Como as últimas efetuam formalização e especialização de atividades, elas limitam ações de seus componentes. Também em hierarquias, dada sua estruturação, uma falha em um elevado nível pode acarretar em bloqueio da organização (EUROPEAN UNION⁵⁰, 2001 apud

⁵⁰EUROPEAN UNION. Networking people for a good governance in Europe. **White Paper on Governance**, Work Area n. 4, 2001.

FLEURY; OUVÉNEY, 2007). Por fim, afirma-se que hierarquias impõem barreiras de segmentação, o que limita a troca de informações (PODOLNY; PAGE, 1998).

Já redes, ao invés daquela formalização e especialização, ampliam espaços (formais e informais) de interação. Desse modo, tornam possível a criação de complementaridade de habilidades e recursos. Em relação à estruturação de hierarquias, a diversidade de conexões possibilita a substituição de funções nas redes. Assim, as últimas conseguem lidar melhor com ataques, isto é, são mais robustas (EUROPEAN UNION⁵¹, 2001 apud FLEURY; OUVÉNEY, 2007). Ainda, as redes não impõem barreiras de segmentação, o que possibilita maior troca de informações do que em hierarquia (FLEURY; OUVÉNEY, 2007).

Nas redes também é possibilitada, em comparação com mercados (e hierarquias), maior troca de informação pela maior estabilidade das primeiras (FLEURY; OUVÉNEY, 2007). Alinhado com essa possibilidade, redes aumentam a variedade de mecanismos de aquisição de conhecimentos e funcionam como canais de difusão de informações. Assim, redes possuem maior potencial de aprendizagem. Ainda, as informações existentes são utilizadas pelas redes para gerar novos conhecimentos e, desse modo, as redes tornam-se *locus* de inovação (PODOLNY; PAGE, 1998).

⁵¹EUROPEAN UNION. Networking people for a good governance in Europe. **White Paper on Governance**, Work Area n. 4, 2001.

4 REDES, CIDADES E REGIÕES

Crê-se, em geral, que a configuração e o desenvolvimento urbano são conduzidos por dois processos. Um constitui-se nas regulações, impostas por um processo *top-down* (BARTHEMELY et al., 2013; KHALI-MIAB et al., 2019). O outro é um processo *bottom-up* que conduz o desenvolvimento de sistemas urbanos (KHALI-MIAB et al., 2019; BETTENCOURT, 2013b).

Congruente com o último processo, afirma-se que cidades são sistemas adaptativos complexos (WEST, 2017) e que regiões podem ser caracterizadas por fenômenos emergentes (ALLEN, 2005). Assim, pela inerente dificuldade de previsão do comportamento de sistemas complexos (PARISI, 2013; MITCHELL, 2009) e de emergentes (WOLF; HOLVOET, 2005; GOLDSTEIN, 1999), é extremamente arriscado considerar regiões e cidades como entidades passivas, absolutamente controláveis por ordenamentos deliberados em ações *top-down*, tomado que o resultado de tais ordenamentos pode ser imprevisível. O aprofundamento dessa discussão coopera para decidir como cidades e regiões devem ser visualizadas e gerenciadas. Para tanto, deve ser averiguado se algum daqueles dois processos coexistentes demonstra indícios de predominância sobre o outro.

4.1 A trajetória histórica da compreensão de regiões e a complexidade de cidades

A trajetória histórica da compreensão de regiões engendra aprofundamento da compreensão desse objeto estudado. Assim, a mesma trajetória coopera para esclarecer se, naquela coexistência de processos, um se sobrepõe ao outro.

Tal trajetória é marcada pela transmutação da percepção de regiões, na qual as últimas são inicialmente compreendidas sob ótica simplista e, posteriormente, passam a ser interpretadas pelas lentes da complexidade. Essa transmutação ocorre, especialmente, no aumento da percepção da interconectividade e dinamicidade, proporcionadores de emergentes (WOLF; HOLVOET, 2005). Já sobre cidades, existe uma interpretação das mesmas que complementa todos os benefícios mencionados oriundos do estudo da trajetória histórica de regiões. Essa interpretação caracteriza cidades como sistemas complexos (LI et al., 2017).

4.1.1 Determinismo e região natural

No final do século XIX e início do século XX, a concepção filosófica positivista demonstrou poder de influenciar as ciências. O significado de região é profundamente conectado com as tendências filosóficas de cada época. Assim, da influência do positivismo ascende, no estudo de regiões, o determinismo ambiental. Ele também apresenta como base influenciadora a presunção do meio como influência determinante, atrelado ao pensamento darwiniano (BEZZI, 2004). Nesses termos, o determinismo ambiental constitui paradigma que indica que condições naturais e físicas determinam o comportamento do homem e o desenvolvimento social (COSTA; ROCHA, 2010; BEZZI, 2004).

Pelas características desse paradigma, é compreensível que ele seja caracterizado por minimização do homem e concepção mecanicista da relação desse último com a natureza (COSTA; ROCHA, 2010). Também, a ideia de que o ambiente possui certo domínio, origina o conceito de região natural (GOMES, 1995). Assim, a noção de região natural, por alguns autores, foi apresentada como ideia básica de teses determinísticas (BEZZI, 2004).

O conceito de região natural tem como seu principal percussor Herbertson (BALBIM; CONTEL, 2013), que trabalhava para identificar regiões com quatro “classes de fenômenos”. Essas, em ordem decrescente de importância, são: configuração, que tratava principalmente dos elementos da geomorfologia e geologia da superfície terrestre; clima; vegetação e densidades populacionais (CONTEL, 2015) (nesse ordenamento de importância, a minimização do homem faz-se visível). Consideradas essas quatro classes de fenômenos, a identificação de áreas homogêneas em continentes engendrava a identificação de regiões naturais (HERBERTSON⁵², 1905 apud CONTEL, 2015; DRYER⁵³, 1915 apud BALBIM; CONTEL, 2013). As últimas eram consideradas duradouras (CONTEL, 2015). Logo, a identificação daquelas geraria solução final para problemas de geografia (DRYER⁵⁴, 1915 apud CONTEL, 2015).

4.1.2 Possibilismo e região geográfica

Em reação ao paradigma do determinismo, emerge outro, chamado de possibilismo (CORRÊA, 1986). Ambos os paradigmas são pertencentes à Geografia Tradicional e tem, como preocupação central, as relações entre homem e natureza (BEZZI, 2004). Eles também

⁵²HERBERTSON, A. J. The major natural regions: an essay in systematic geography. **The Geographical Journal**, London, v. 25, n. 3, p. 300-312, 1905.

⁵³ DRYER, C. R. Natural economic regions. In: ANNALS OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS, Washington, DC, v. 5, p. 121-125, jan. 1915.

⁵⁴ DRYER, C. R. Natural economic regions. In: ANNALS OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS, Washington, DC, v. 5, p. 121-125, jan. 1915.

apresentam como similaridade não considerarem o homem um ser social (COSTA; ROCHA, 2010).

No processo de definição de regiões, ainda existem semelhanças entre os conceitos de regiões representativos dos paradigmas. Nesse contexto, é tomado o conceito de região natural como representante do paradigma do determinismo. Para representar o possibilismo, como seu principal autor é Vidal de La Blache (COSTA; ROCHA, 2010), o conceito usado por ele para o estudo de regiões, que é o de região geográfica, é empregado. Esses dois tipos de regiões utilizam-se da homogeneidade interna em contraste com a heterogeneidade externa para caracterizar regiões. Logo, ambas as definições de regiões são consideradas tipos de regiões homogêneas (BALBIM; CONTEL, 2013). Também, ambos os tipos de regiões geram para a última um *status* ontológico; como realidade, a região independente do pesquisador (GOMES, 1995).

Todavia, o possibilismo avança em compreender a capacidade do homem em transformar o meio natural (COSTA; ROCHA, 2010). Assim, para esse paradigma, a natureza oferta possibilidades aos homens e esses selecionam as que estão mais alinhadas com suas aptidões culturais (BEZZI, 2004). Logo, no processo de definição da geográfica, é considerado o aspecto cultural (em contrário do que ocorre na captação de regiões naturais) (BALBIM; CONTEL, 2013).

Aprofundando, Vidal de La Blache, para conceituar o termo de “região geográfica”, aponta que as homogeneidades na superfície terrestre são produtos da relação entre homem e natureza. Desse modo, busca explicar fenômenos regionais por meio da união de aspectos “naturais” e “humanos” (CONTEL, 2015). Ainda, metáforas usadas por La Blache transcendem a percepção de apenas a natureza influenciar o homem e indicam uma relação de influência mútua. Essas metáforas, apontadas por Grigg (1974, p. 27), descrevem que ambos os elementos aqui discutidos se “moldam”, “[...] como um caracol e sua concha [...]”, e que “os dois formam uma amálgama complicada”. Como o homem influencia o meio e a ação humana é dinâmica, identificar uma região geográfica não resolve definitivamente o problema de geografia (BEZZI, 2004).

4.1.3 Do estático para o dinâmico, das partes para o sistema

Após a Segunda Guerra mundial, ascendem novas interpretações sobre o fenômeno regional (BALBIM; CONTEL, 2013; CONTEL, 2015). A gênese desse movimento foi dada

pelo alemão Walter Christaller, principalmente pelo seu livro *Central Places in Southern German*.

De acordo com o já apresentado, regiões homogêneas agrupam lugares de acordo com que eles são ou estão. Em contraste, o enfoque, com Christaller, passa a ser nos fluxos e relações entre cidades e suas áreas de influência, isto é, nas ações. A importância das ações é demonstrada por termo empregado para caracterizar região sob esse novo enfoque. Termo esse que representa, em essência, atividade: regiões funcionais (BALBIM; CONTEL, 2013).

Dado o enfoque nos fluxos, Christaller passa a valorizar, além da dinamicidade, as conexões entre componentes regionais e, assim, o todo ganha importância. Isso facilita a centralização da discussão na formação de redes urbanas. Somados os pensamentos reticular e dinâmico, Christaller cunha o termo regiões complementares, que descreve funcionamento sistêmico entre cidades (CONTEL, 2015).

Nesse funcionamento sistêmico, o alcance dos bens e serviços que cada cidade oferta comanda a organização das cidades (CONTEL, 2015). Para determinar a área de influência de uma cidade em relação à sua rede, o mercado passa a ser o agente central (BALBIM; CONTEL, 2013). No âmbito do mercado, o alcance dos bens acompanha, em relação positiva, o nível de complexidade das atividades de serviço e comércio (CONTEL, 2015).

Assim, as regiões complementares são definidas como a “área de alcance de um bem central” (CHRISTALLER, 1933; 1996 apud BALBIM; CONTEL, 2013, p. 33). O “bem central” é compreendido como serviços ou mercadorias existentes apenas em alguns municípios que apresentam “maior densidade populacional e/ou complexidade de ‘mercado urbano’” (BALBIM; CONTEL, 2013, p. 33). Além de ser fulcral para determinar uma região complementar, a complexidade de bens e serviços (no comércio) ainda determina “a posição relativa desse ‘lugar central’ na hierarquia do sistema de cidades do qual faz parte” (CONTEL, 2015, p. 451).

Desenvolvendo o pensamento proposto por Christaller, emerge o autor Michael Rochefort (BALBIM; CONTEL, 2013). Este demonstra congruência com a percepção de existência de redes de municípios e aprofunda-se em tal âmbito (CONTEL, 2015). Rochefort afirma que “as cidades são ‘pilares da vida de relações’ que animam as redes urbanas, e o

conjunto coeso do funcionamento desta ‘vida de relações’ entre as cidades é o que [...] forma as ‘redes urbanas regionais’” (ROCHEFORT, 1960⁵⁵, 1961⁵⁶ apud CONTEL, 2015, p. 452).

4.1.4 A complexidade de arranjos e interações espaciais

Como expresso, o transcorrer do percurso histórico da compreensão de região demonstra, em suma, a intensificação da percepção da complexidade da região, manifesta na dinamicidade e interconectividade. Exemplos dessas propriedades são demonstrados nos pensamentos de Christaller e Rochefort. As mesmas propriedades são intrínsecas a sistemas complexos, dado que a emergência, necessária para a caracterização desses últimos (WEST, 2017; MITCHELL, 2009), demanda a existência de movimento e interconexão entre elementos (WOLF; HOLVOET, 2005).

Além de regiões, cidades passam a ser descritas pela sua intrínseca complexidade. Esse fato é manifesto na atual ascensão de novo paradigma referente à compreensão de cidades (BATTY, 2013), paradigma esse atrelado à vigente rápida expansão das ciências da complexidade (BATTY, 2005). Ainda alinhada com a complexidade, existe uma nova ciência de cidades. A notação chave para que essa ciência seja compreendida é a noção de que as cidades, ao invés de serem visualizadas como locais (espaços), devem ser vislumbradas como uma constelação de interações, relações, comunicações, fluxos e redes (BATTY, 2013). Também em coerência com propriedades típicas de complexidade (CAPRA, 2006), foi assumido que cidades sempre estão fora do equilíbrio. Em relação à emergência, destaca-se que cidades evoluem principalmente em processo *bottom-up*, como um produto de decisões (de grupos e de indivíduos) (BATTY, 2013). Expandindo essa percepção, “Uma cidade é um sistema adaptativo complexo emergente, originado pela integração de fluxos de energia e recursos que sustentam e desenvolvem tanto a infra-estrutura física quanto habitantes da cidade” (WEST, 2017, p. 295).

Ainda, o processo de complexificação da compreensão de sistemas urbanos propaga-se e atinge a análise do desenho espacial daqueles sistemas. Essa compreensão do espaço geográfico sob a ótica da complexidade dá-se por contraposição à Teoria dos Locais Centrais. Locais centrais são, de acordo com Christaller, assentamentos que são, predominantemente,

⁵⁵ROCHEFORT, M. **L’Organisation urbaine del’Alsace**. Strasbourg: Faculté des Lettres de l’Université de Strasbourg, 1960.

⁵⁶ROCHEFORT, M. Métodos de estudo das redes urbanas: interesse da análise e do setor terciária da população ativa. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 160, p. 3-18, 1961.

centros de regiões (GETIS; GETIS, 1966). Já a teoria dos locais centrais é um modelo geométrico e altamente simétrico que descreve como as cidades e os sistemas urbanos são configurados fisicamente (WEST, 2017). Nessa teoria, Christaller afirmou que sistemas urbanos e, conseqüentemente, cidades, podem ser representados como estruturas (situadas em duas dimensões) baseadas em hexágonos simétricos que seguem geometria euclidiana. Tais hexágonos se repetem em escalas cada vez menores e são locais centrais de atividade comercial (WEST, 2017).

Figura 57 – A treliça hexagonal de Christaller

Fonte: Adaptada de West (2017, p. 289).

Todavia, o modelamento espacial formal da teoria dos locais centrais se tornou antiquado em Geografia (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010). Assim, Meijers (2007) identifica que a teoria dos locais centrais é substituída por um modelo de rede e que essa substituição caracteriza uma mudança de paradigma. Como expresso por esse modelo, a similaridade descrita pela teoria dos locais centrais é reinterpretada sob a lógica da complexidade. Sob a nova compreensão, a autossimilaridade se assemelha não com a rigidez das estruturas cristalinas de Christaller, mas sim com estruturas de redes hierárquicas que evoluíram de maneira orgânica. Assim, cidades não são mais descritas pela geometria euclidiana, mas sim apresentam formas semelhantes à de fractais⁵⁷, típicas de sistemas adaptativos complexos (WEST, 2017).

⁵⁷Outras conclusões ainda podem ser tomadas sobre cidades de acordo com suas fractalidades. Por exemplo, quando as últimas encolhem economicamente ou passam por dificuldades nesse mesmo âmbito, sua dimensão fractal diminui. Também, normalmente, o crescimento e o desenvolvimento de uma cidade saudável e robusta são acompanhados de aumento na sua dimensão fractal, que indica desenvolvimento de maior complexidade (WEST, 2017).

Figura 58 – A similaridade e o formato fractal no crescimento de Paris (esquerda) e de uma colônia de bactérias (direita)

Fonte: Adaptada de West (2017, p. 291).

E, apesar de, em casos, a fractalidade não estar evidente, ela pode estar presente. Um exemplo é a rede interestadual de estradas dos Estados Unidos. Nessa, as rodovias foram planejadas para apresentarem o máximo de linearidade, distanciando-se do aspecto fractal. Todavia, quando tal sistema é visualizado sob a ótica do fluxo de tráfego efetivo (a essência da existência da rede interestadual), o aspecto fractal torna-se claro (WEST, 2017).

Figura 59 – A tácita fractalidade

O desenho do lado esquerdo descreve o simples desenho das rodovias interestaduais dos EUA. O desenho da direita é um mapa do fluxo de transporte no Texas. A espessura da estrada considera seu fluxo relativo.

Fonte: Adaptada de West (2017, p. 293).

Por fim, congruente com a complexificação da percepção de sistemas urbanos (e até do distanciamento desses sistemas da ótica do PCN e aproximação ao PVMH), também alinhado com o reconhecimento de fractais na caracterização espacial daqueles sistemas, dado que fractais estão atrelados à evolução orgânica, destaca-se que as cidades são vistas como mais similares a sistemas biológicos do que sistemas mecânicos (BATTY, 2013; WEST, 2017). Em concordância, Kayser (1966, p. 283) define regiões como “organismos vivos e complexos.

Nascem, isto é, tomam corpo e se cristalizam – desenvolvem-se, isto é, se estruturam de uma maneira cada vez mais firme, ganham coesão”.

4.2 O confronto entre a lógica *top-down* e a *bottom-up*

Na trajetória histórica da percepção de regiões e na interpretação recente de cidades, é visível ênfase para dinâmicas atreladas à emergência (em contraposição às dinâmicas *top-down*). Todavia, essa ênfase não significa que, na discussão sobre sistemas urbanos, a lógica deliberada e *top-down* tenha sido erradicada. Isso é expresso nos pensamentos de Kayser (1980), que afirma que a formação efetiva das regiões se dá por processos “liberais⁵⁸” e “voluntários”. O primeiro processo “confunde-se com as lentas e espontâneas diferenciações das áreas, derivadas principalmente do aumento da complexidade da vida urbana e industrial do país” (CONTEL, 2015, p. 452). Já nos processos voluntários, os fatores (que interferem nos processos liberais) são mais controlados pelo Estado e geram uma formação mais deliberada (KAYSER, 1966).

Em coerência com a valorização da lógica *top-down*, no escopo da geologia e história, a importância da política para a região é notada por Lacoste:

[...] seria politicamente mais sadio e mais eficaz considerar a região como uma forma espacial de organização política (etimologicamente, região vem de *regere*, isto é, dominar, reger) [...] (LACOSTE, 1989, p. 65).

Também são reconhecidos centros que tomam decisões e ações que possuem capacidade de ordenar espaços. Esses centros são os de gestão do território, que são cidades onde são situados órgãos estatais e sedes de empresas. Essas cidades controlam um espaço por meio das empresas sediadas naquelas (CORRÊA, 1995).

Todavia, em ponderação final à importância de cada lógica (*top-down* e *bottom-up*), é destacado que, independentemente da lógica adotada para visualizar cidades e regiões, ambas são caracterizadas por formato reticular e por dinâmicas, como expresso por West (2017), Rocherfort e também Batty (2005). Logo, ao tratar sobre a lógica *top-down*, como resposta à

⁵⁸Nos processos liberais, influenciavam fatores naturais, históricos, de comunicação, de administração e de polarização. Este último fator descreve que “toda região desenvolve-se a partir de um centro urbano principal, e quanto maior for a importância em termos industriais e de serviços deste centro em relação ao seu entorno, maior será sua capacidade de ‘realizar’ sua região” (CONTEL, 2015, p. 453). Desse modo, não é a região que cria sua capital, mas sim a cidade que forja sua região (KAYSER, 1980).

dinamicidade, organizações apresentam formato reticular como sua característica principal (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010; KLERING; PORSSE, 2014). Já sobre a estruturação reticular (ainda sobre a mesma *lógica top-down*), a existência de diversos centros decisórios, como mostrado por IBGE (2008), caracteriza o cenário como descentralizado (sob a ótica dos sistemas decisórios). Nesse cenário, é necessária a formação de redes (FLEURY; OUVENEY, 2007).

Consequentemente, o objeto interconectado e dinâmico descrito (sistemas urbanos) pode gerar fenômenos emergentes (WOLF; HOLVOET, 2005). Mais especificamente, tem-se que a interação entre diversos indivíduos, dos quais nenhum está no controle, faz com que o resultado de ações em rede tenda a ser emergente (BRUJIN; HEUVELHOF, 2018).

Assim, apesar de existirem intenções e ações *top-down* para controlar o território de maneira deliberada que podem obter certo sucesso, pela complexidade do cenário regional e municipal, as ações *top-down* são, na verdade, apenas ocasionais e cidades não são ordenadas centralmente (BATTY, 2013). Corroborando isso, West (2017) afirma que cidades não são caracterizadas por uma *lógica top-down*. Ainda, em sistemas dinâmicos complexos (com os quais cidades e regiões demonstram congruências, como interconectividade e dinamicidade), a complexidade é tamanha que se torna impossível de impor, a priori, uma estrutura a ele: o sistema deve se auto-organizar (WOLF; HOLVOET, 2005).

Destarte, conclui-se que, daqueles dois processos coexistentes para a condução de configuração e o desenvolvimento urbano, o atrelado a dinâmicas *bottom-up* demonstra indícios de se sobressair para cidades e possivelmente também para regiões⁵⁹. Isso, somada à proposta da pesquisa de apresentar perspectivas, teorias e técnicas vinculadas ao PVMH para compreender cidades e redes interurbanas, conclui-se que deve ser aprofundada a compreensão de propriedades de processos *bottom-up*, atrelados à emergência e interconectividade de sistemas urbanos.

Tais propriedades combinadas basicamente descrevem sistemas complexos. Como é necessária profunda compreensão das redes subjacentes aos sistemas complexos para a compreensão dos últimos (BARABÁSI, 2014), as redes de sistemas urbanos devem ser estudadas. Todavia, as redes que devem ser estudadas enquadram-se em distintas categorias. Por exemplo, existem conexões entre cidades próximas e conexões entre cidades distantes; conexões hierárquicas e horizontais. Essas categorias podem apresentar distintas características

⁵⁹ Essa conclusão é menos segura ao tratar de regiões em comparação com cidades.

e, se assim for, devem ser ordenadas (na estruturação do texto) e interpretadas de acordo com suas idiossincrasias.

4.3 A possível categorização de redes

Para averiguar a existência de diferença entre conexões de curto e longo alcance (entre componentes regionais), julgar a teoria de locais centrais de Christaller demonstra utilidade. Essa utilidade manifesta-se por Ullman (1941) ter notado, empiricamente, limites no funcionamento da padronização do local central para locais urbanos de maiores níveis hierárquicos. Assim, é possível que a hierarquia de cidades globais seja interpretada como um exemplo dos limites das ideias de locais centrais (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010). Por fim, constata-se que a teoria dos locais centrais encontra dificuldade para compreender relações complexas e não hierárquicas. Isso constitui séria limitação, uma vez que a mutualidade é necessária para a operação da rede mundial de cidades (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010).

4.3.1 A categorização de redes

Tomado esse cenário, Taylor; Hoyler e Verbruggen (2010) propõem bipartição de processos genéricos de relações urbanas externas. Esses processos são chamados de *town-ness* e *city-ness*. Como os dois são processos urbanos genéricos, os dois são necessários para descrever relações urbanas externas, isso para o presente e para o passado.

O *town-ness* são as relações externas entre centro urbano e hinterlândia, isto é, são relações locais (de curto alcance) e são vistas como hierárquicas. Já o *city-ness* representa relações intermunicipais horizontais (não hierárquicas), cujo alcance ultrapassa a hinterlândia do centro urbano (relações de longo alcance). Ainda, *city-ness* se distingue de *town-ness* por meio da inerente complexidade da primeira (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010).

Já sobre a interpretação dos dois processos, o *town-ness* é descrito pela teoria de locais centrais e é modelado por hierarquias urbanas. Por outro lado, o *city-ness* é modelado por redes urbanas e é descrito pela teoria de fluxo central⁶⁰. Em congruência com a análise de

⁶⁰Uma base para o emprego da Teoria dos Fluxos Centrais é a noção de rede urbana como um dinâmico sistema auto-organizado (IBGE, 2014), noção essa expressa por Pumain (1999). Assim, a forma da rede urbana é resultado de interações entre diversos agentes, sem coordenação central. Também, modificações ocorrentes em uma cidade do sistema podem, de acordo com a conjuntura, alterar o

complexidade de *city-ness* e *town-ness*, o processo de local central (atrelado ao *town-ness*) é simples em comparação com a teoria de fluxo central (atrelado ao *city-ness*) (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010). Como o processo de *city-ness* existe especialmente em centros de alta hierarquia, a Teoria das Localidades Centrais “dá conta das cidades de baixa hierarquia [...], enquanto para os centros de alta hierarquia a Teoria dos Fluxos Centrais é a que ganha importância” (IBGE, 2014, p. 15). A diferença central entre os dois processos diz respeito às suas respectivas formações de espaço social (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010):

Na teoria de local central, a centralidade da localização é o bloco de construção básico sobre o qual os espaços dos lugares são formalmente construídos. Em contraste, na teoria do fluxo central, são os fluxos que chegam ao centro do palco como o elemento gerador da rede; é um espaço de fluxos que é formalmente construído. Em outras palavras, é uma questão do que é central, local ou fluxo. (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010, p. 2814).

Por fim, Taylor, Hoyler e Verbruggen (2010) destacam que a hierarquia, característica de processos de *town-ness*, implica relações intermunicipais competitivas. Todavia, Meijers (2007) identifica que existe cooperação entre cidades e, para o modelo de redes, complementariedade é a principal característica. Assim, a hierarquia é atrelada à competição e a rede, à cooperação. Esse contraste entre a competição hierárquica e a cooperação em rede excede interações intermunicipais (TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010), uma vez que tal dicotomia existe em organizações sociais em geral (POWELL, 1990).

4.3.2 Visões semelhantes a essa categorização

A percepção da existência de dois tipos distintos de relações intermunicipais (distinguidos pela proximidade de tais relações) é corroborada, além de Taylor, Hoyler e Verbruggen (2010), por outros pensadores. Por exemplo, Santos, em busca de descrever regiões, afirma que, no processo de definição da região, está presente (e possui grande importância) uma lógica de influência externa (como fluxos de capitais, informações e mercadorias). Tais pontos distantes conectados formam as verticalidades (SANTOS, 1998). Todavia, em relação dialética com a influência externa, existe uma outra lógica, chamada de

relacionamento de outras cidades no conjunto (propagação de flutuações) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014).

horizontalidades. Santos (1998, p. 16) afirma que "as horizontalidades serão os domínios da contiguidade, daqueles lugares vizinhos reunidos por uma continuidade territorial". Tal relação dialética entre ambos os tipos de lógicas produz a região (CONTEL, 2015).

Também Hohenberg e Less (1985) desenvolveram sistema dual. A rede de sistemas (um dos sistemas componentes do sistema dual) apresenta trocas de longa distância e uma divisão de trabalho que apresenta maior complexidade. Esse sistema de rede complementa o sistema de locais centrais.

4.4 Redes de (e em) cidades

Fundamentadas nas análises desses autores, as conexões entre sistemas urbanos devem ser estudadas de acordo com a divisão de curto alcance (microescala) e de longo alcance (macroescala) (SANTOS, 1998; HOHENBERG; LESS, 1985; TAYLOR; HOYLER; VERBRUGGEN, 2010). Ainda, como regiões e cidades são compostas por pessoas e as redes interpessoais geram diversas propriedades para cidades (WEST, 2017), as redes estudadas também são divididas em redes interpessoais (visão em nível micro) e intermunicipais (visão em nível macro). Logo, redes são categorizadas em: redes interpessoais em macroescala; redes interpessoais em microescala e redes intermunicipais em macroescala. Esse último tipo de rede não é estudado em microescala pois conexões entre cidades em tal escala (como distâncias inferiores a 10 km) são raras no objeto de trabalho (coletivo de municípios do estado de São Paulo).

Por vezes, a análise em nível micro não trata especificamente de redes interpessoais, mas sim de padrões de coletivo de pessoas. Exemplos desses padrões são deslocamento de pessoas entre cidades e locais. Caso considerado que locais se conectam por movimentação de pessoas (isto é, se pessoas movimentam-se entre dois locais, os últimos estão conectados), aqueles padrões de deslocamento podem representar conectividade de locais.

Posteriormente, exclusivamente sobre cidades, assim como a lógica de análise de comportamento médio permite captar propriedades de sistemas complexos (PARISI, 2013; FELDMAN, 2012), são descritas, além das interações presentes nas cidades, as propriedades das últimas atreladas àquelas interações. Por fim, são combinadas as percepções de redes intermunicipais com as propriedades resultantes de redes intramunicipais (que são redes interpessoais em microescala) para melhor compreender cidades.

4.4.1 Redes interpessoais em macroescala

Nesse ponto são estudadas redes de pessoas cujos vínculos consideram longas distâncias. Assim como todas as redes que representam grandes sistemas, são bem interpretadas pelas lentes da teoria de redes.

4.4.1.1 Descrições de propriedades de rede interpessoal em macroescala

Para compreender uma rede interpessoal, foram analisados padrões comunicacionais fundamentados em chamadas de celulares efetuadas por significativa parcela de um país. As ligações analisadas aconteceram durante um período de 18 semanas. Na rede construída embasada nessas ligações, existe uma aresta (não dirigida) entre dois indivíduos (i e j) se ocorreu, ao menos, 1 ligação de i para j e uma de j para i . O peso da aresta que conecta esses dois indivíduos ($w_{ij} = w_{ji}$) é determinado pela soma da duração da ligação entre tais indivíduos. A rede resultante possui $N = 4,6 \times 10^6$ e $L = 7 \times 10^6$ (ONNELA et al., 2007).

Apesar de a rede construída expressar apenas um tipo de comunicação entre pessoas (ligações feitas por celulares), a comunicação por um meio implica, especialmente para conexões fortes, alta probabilidade de ocorrerem comunicações por outros meios (HAYTHORNTHWAITE, 2005). Assim, a rede interpessoal obtida pode ser considerada como uma representante de rede comunicacional entre os usuários dos celulares (ONNELA et al., 2007).

A cauda da distribuição de grau da rede obtida é aproximada por $\gamma = 8,4$. Desse modo, para essa distribuição que decai tão rápido (em comparação com valores de γ próximos de 3), os hubs são poucos, logo, algumas propriedades de redes livres de escala (como tolerância a erros) não se fazem presentes nessa rede. Já o peso das arestas decai com expoente $\gamma_w = 1,9$ (ONNELA et al., 2007).

Na mesma rede é identificado que, quanto mais forte o peso da aresta entre duas pessoas, mais amigos elas possuem em comum. Assim, é sugerido que o peso da aresta é conduzido, em parte, pela estrutura da rede na vizinhança da aresta. Mais especificamente, os pesos de arestas entre membros de uma comunidade são maiores do que os pesos de arestas entre comunidades. Nesses termos, ao considerar que a propagação de informação é proporcional ao peso de arestas, a combinação dos pesos de arestas com a estrutura da rede torna o fluxo de informação mais lento, prendendo-a em comunidades (ONNELA et al., 2007).

4.4.1.2 Redes de (e por) pessoas em macroescala e a lei gravitacional

Outras redes interpessoais em macroescala são analisadas. Nessas é focalizado o comportamento das conexões entre os nós dada a variação da distância física entre eles. Isso é feito pois, em muitos casos, é válido assumir que a proximidade geográfica importa na maneira como os nós se conectam (LAMBIOTTE et al., 2008).

Uma dessas redes é fundamentada em comunicações por celular. Ela é descrita por chamadas e troca de mensagens (ambas nomeadas, a partir desse ponto, como apenas chamadas) entre 2,5 milhões de usuários. Para eliminar possíveis chamadas acidentais (como ligações por engano), indivíduos são conectados apenas se eles possuem, no mínimo, seis pares de chamadas recíprocas durante o período de seis meses (que é a extensão temporal da coleta de dados). A rede obtida é não ponderada e não dirigida e apresenta distribuição de grau muito bem aproximada por lei de potência $k^{-\gamma}$, com $\gamma = 5$ (LAMBIOTTE et al., 2008).

Ao analisar essa rede no que se refere à distância entre os nós, destaca-se que, em redes socioeconômicas, um decaimento da interação ou fluxo entre dois locais que segue $\sim 1/d_a$ aparenta ser universal (LAMBIOTTE et al., 2008; ERLANDER; STEWART, 1990). Isso foi observado, por exemplo, no mercado internacional (BHATTACHARYA et al., 2008) e no fluxo de tráfego entre cidades (JUNG; WANG; STANLEY, 2008). Ainda, na maioria das redes socioeconômicas, α é muito próximo de 2, o que sugere nomear esse sistema de gravitacional. Isso age como uma metáfora da lei de gravidade física: $G = Ma \times Mb/d^2$, onde Ma é a massa do corpo a, Mb é a massa do corpo b e d é a distância entre os objetos analisados. No caso de redes de entidades geográficas (como cidades), o número de habitantes cumpre o papel da massa (LAMBIOTTE et al., 2008).

Fundamentado nisso a rede interpessoal (descrita por chamadas) é avaliada de acordo com a probabilidade de duas pessoas estarem conectadas, dada a distância entre elas. Essa probabilidade é $P_d = L_d/N_d$, onde L_d é o número de pares de nós conectados que estão separados pela distância d e N_d é o número de possíveis arestas em nós que estão separados por distância d (LAMBIOTTE et al., 2008).

Os resultados de P_d são expressos, na figura 60, pela linha contínua marcada por diversos “x”. Na figura também é considerado o decaimento de d^{-2} , representado pela linha tracejada. De acordo com o gráfico, “A análise empírica mostra que P_d é muito bem aproximado por um modelo gravitacional $\sim d^{-2}$ sob grande amplitude de distâncias” (LAMBIOTTE et al., p. 5319).

Fonte: Adaptada de Lambiotte et al. (2008, p. 5319).

Ainda, outro padrão de coletivo de pessoas é bem compreendido pela ótica de distância. Esse padrão é a movimentação de pessoas (entre locais marcados geograficamente, como livrarias e cafeterias). Em uma visão global do deslocamento humano (visão que engloba distâncias muito grandes, como 20 mil km), é identificado que a distribuição de movimentação humana é bem aproximada, tomada a distância dos movimentos, por lei de potência com expoente $\beta = -1,5$ (com limite de 2,87) (NOULAS et al., 2012). Esse é um valor muito similar ao do expoente da função densidade de probabilidade $P(r)$ de notas de dólares terem percorrido uma distância r (em menos de 4 dias): $P(r) \sim r^{-1,59}$. Essa movimentação é útil para avaliar estatisticamente viagens humanas (BROCKMAN; HUFNAGEL; GEISEL, 2006).

Em relação a esses estudos de Noulas et al. (2012) e Brockman, Hufnagel e Geisel (2006), é possível assumir que locais conectam-se com a movimentação de pessoas entre eles. Isto é, redes (de locais) são formadas por pessoas (os fluxos dessas representam arestas). Sob essa perspectiva, as funções expressas pelos estudos que representam, respectivamente, a distribuição de movimentação humana e a função densidade de probabilidade da movimentação de nota de dólares, ambas determinadas pela distância desses movimentos, mensuram a probabilidade de dois locais estarem conectados. Essa probabilidade, assim como no modelo gravitacional, é muito bem descrita pela distância física entre os locais.

4.4.2 Rede intermunicipal em macroescala

Ainda em macroescala, além de rede interpessoal, tem-se rede intermunicipal. A última fundamenta-se em chamadas telefônicas entre os habitantes das cidades. Para sua construção, inicialmente, foram coletadas informações de chamadas telefônicas (tempo de duração, local de chegada e de partida) de 2,5 milhões clientes de (apenas) uma operadora belga de celular. Ou seja, foram coletadas informação em nível micro (pessoas). Para conectar os clientes, é necessário que tenham ocorrido 6 chamadas, em ambas as direções, durante 6 meses. O peso da aresta entre indivíduos é determinado pelo tempo de comunicação (em segundos) entre eles (KRINGS et al., 2009). Fundamentada nisso, foi construída a rede intermunicipal, composta por 571 cidades belgas. A intensidade da interação entre duas cidades (A e B) é determinada por $L_{AB} = \sum_{i \in A, j \in B} l_{ij}$, onde i e j são clientes e l_{ij} a intensidade da comunicação entre eles (KRINGS et al., 2009).

Como a rede analisada considera apenas clientes de uma operadora, é possível que isso seja uma limitação dos dados, caso o intuito seja analisar o comportamento comunicacional da população do país todo. Todavia, o número de clientes em cada cidade segue a mesma distribuição (lognormal) da população total. Isso sinaliza que os dados utilizados não são enviesados por grupos de clientes particulares. A sinalização é corroborada pelo fato de os *ranks* dos tamanhos populacionais de cidades coincidirem com os de clientes (KRINGS et al., 2009).

A distribuição de intensidade de interações da rede intermunicipal obtida aparenta seguir distribuição lognormal. Uma distribuição similar, também lognormal, caracteriza a distribuição de grau. Essa distribuição é consistente com outras redes macroscópicas, como a intensidade de trocas entre países (KRINGS et al., 2009), mostrada por Battacharya et al. (2008).

Figura 61 – Distribuição de intensidade da rede macroscópica

Autoconexões não são permitidas. A curva vermelha representa a melhor aproximação, lognormal, com parâmetros de $\mu = 3.93$ e $\sigma = 1.03$.

Fonte: Adaptada de Krings et al. (2009, p. 4).

Krings et al. (2009) identificaram na rede intermunicipal que a intensidade de arestas e distância possui clara relação. Mais especificamente, foi encontrado que $1/d^2$ possui grande poder de explicação de tal relação, especialmente para distâncias iguais ou maiores a 10 km.

Figura 62 – A relação entre intensidade média de comunicação com distância e $1/d^2$

A linha preta representa $1/d^2$.

Fonte: Adaptada de Krings et al. (2009, p. 5).

Também relacionado ao modelo gravitacional, as massas (populações das cidades) também possuem clara relação com a intensidade das comunicações intermunicipais: as últimas escalam com o tamanho das cidades. Essas comunicações, dado o sentido (se parte de A para B ou B para A), apresentam grande simetria. Ou seja, chamadas em uma direção tendem, fortemente, a encontrar correspondência na direção contrária (KRINGS et al., 2009).

Figura 63 – Relação entre intensidade de comunicações intermunicipais e população dos municípios

A intensidade de saída (L_{A*}) é representada pelos quadrados azuis e a intensidade de entrada (L_A), por quadrados vermelhos.

Fonte: Adaptada de Krings et al. (2009, p. 5).

Assim, os resultados obtidos sugerem que a rede intermunicipal é governada por modelo gravitacional. Esse modelo é descrito por $L_{AB} = K \frac{P_A P_B}{d_{AB}^2}$, no qual K é uma constante de escalonamento. Para testar a validade desse modelo, são comparados os resultados do último com os obtidos pelos dados empíricos. Nessa comparação, K pode ser estimado com o melhor ajuste dos dados (KRINGS et al., 2009). Os resultados da comparação são expressos na figura 64.

Figura 64 – Relação entre intensidade de comunicação intermunicipal obtida e $P_A P_B / d_{AB}^2$

A linha preta representa a lei gravitacional. As escalas dos eixos representam o logaritmo, na base 10, da intensidade observada em segundos (x) e da intensidade esperada (y), também em segundos.

Fonte: Adaptada de Krings et al. (2009, p. 6).

Assim, fundamentado nos resultados expressos pelas figuras 62, 63 e figura 64, constata-se que a intensidade de comunicação intermunicipal é caracterizada modelo gravitacional. O último é capaz de descrever, especialmente para interações não fracas, com alta precisão a intensidade de interações intermunicipais (KRINGS et al., 2009).

4.4.3 Redes interlocais formadas por movimentações interpessoais em microescala

A mobilidade humana é interpretada de acordo com duas vertentes explicativas distintas. Uma dessas percebe que aquela é mitigada pelos custos associados à distância física, como expresso pelo modelo gravitacional. Já a outra vertente compreende que a migração depende do número de oportunidades, capazes de satisfazer o intuito da viagem, mais próximas entre origem e destino do trajeto. Assim, o valor absoluto da distância entre locais é irrelevante; apenas o *ranking* (ordenamento) das oportunidades importa (NOULAS et al., 2012).

Para investigar qual das duas vertentes melhor descreve a realidade, foram utilizados dados reais de movimentações humanas. As movimentações ocorrem em locais marcados geograficamente (já mencionados), como livrarias e cafeterias. Inicialmente, são analisadas movimentações em curtas distâncias (considerados deslocamentos intramunicipais) de três cidades selecionadas (Houston, São Francisco e Singapura), descritas pela figura 65 (NOULAS et al., 2012).

Nessa figura é observada grande estabilidade da função densidade de probabilidade de 10 até 100 metros e posterior decaimento suave (que se acelera conforme a distância é aumentada) de 100 metros até 10 km. Por fim, em distâncias superiores à última apresentada, a intensidade do decaimento dos valores da função densidade de probabilidade é muito maior. Apesar dessa comunalidade de características, o formato das distribuições varia entre as três cidades. Isso sugere que ou as movimentações humanas não apresentam padrões universais (dadas distintas cidades) ou a distância não é uma medida adequada para captar e mensurar tais padrões (NOULAS et al., 2012).

Figura 65 – Movimentos intramunicipais de três cidades

O eixo vertical representa a função densidade de probabilidade (em log) de movimentações humanas; o horizontal, a distância (em log e em km) dos deslocamentos efetuados.

Fonte: Adaptada de Noulas et al. (2012, p. 4).

Para testar a veracidade das duas suposições, foi averiguada a validade da vertente de estudo do movimento humano que considera, ao invés da distância física, o *ranking* de oportunidades. O *ranking* de cada deslocamento entre dois locais (u e v) é o número de locais (w) que estão mais próximos (dada distância física) de u do que v está de u . Dito de outra forma, os *rankings* são determinados pela quantidade de oportunidades intermediárias entre locais. Nesses termos, é analisada a função densidade de probabilidade de valores *rank*s para 34 cidades. São identificadas grandes similaridades entre os padrões de deslocamento das 34 cidades (NOULAS et al., 2012).

Figura 66 – Distribuição de rank de 34 cidades

A média empírica ao ajustar as distribuições dos valores de rank foi de $\alpha = 0,84$, que apresenta variações minúsculas entre distintas cidades.

Fonte: Adaptada de Noulas et al. (2012, p. 5).

Ao aprofundar a comparação entre a lógica gravitacional e a análise de distância-*rank*, são criados dois modelos, cada um correspondente a uma dessas lógicas. O modelo distância-*rank* constitui-se de: dado um conjunto de locais U em uma cidade, a probabilidade de ocorrer movimentação que parte de $u \in U$ e atinge $v \in U$ é definida por $P_r[u \rightarrow v] \propto \frac{1}{rank_u(v)^a}$, onde $rank_u(v) = |\{w : d(u, w) < d(u, v)\}|$ (NOULAS et al., 2012).

Já o modelo gravitacional é descrito por

$$P_g[u \rightarrow v] \propto \frac{m_u \cdot m_v}{d(u, v)^b} \quad (4.1)$$

A massa de cada espaço foi determinada pelo número de locais situados em um raio de 100 metros de cada espaço. Já b foi considerado com o valor de 1 (NOULAS et al., 2012). Os resultados da comparação entre os modelos e a realidade são expressos, para três cidades, na figura 67.

Figura 67 – Comparação entre realidade e os dois modelos

Fonte: Adaptada de Noulas et al. (2012, p. 6).

Apesar dos bons resultados do modelo gravitacional, o modelo de distância-*rank* obteve resultados melhores. O último modelo foi capaz de captar até pequenas nuances do movimento

humano, como demonstrado pelo caso de São Francisco, no qual foram captados pequenos “pulos” nos dados para distância de 20km e 40 km. As mesmas conclusões entre a comparação do modelo gravitacional e o modelo distância-*rank*, assim como a grande precisão do último, são válidas para todas as outras 31 cidades avaliadas pelo estudo. Assim, conclui-se que a probabilidade de ocorrer deslocamento entre locais é inversamente proporcional a uma lei de potência dos *rankings* desses locais. Tal comportamento é universal (NOULAS et al., 2012).

4.5 Conclusões das redes e padrões analisados

Inicialmente, é interessante notar a validade da lógica gravitacional para padrões ocorrentes em macro escala, como expresso por Lambiotte et al. (2008), que trata da probabilidade de duas pessoas estarem conectadas, tomada a distância entre elas. Como os elementos conectados são pessoas, no modelo gravitacional, as massas podem ser consideradas iguais e, assim, tal modelo demonstra grande validade pela probabilidade de duas pessoas estarem conectadas ser bem descrita pela lei $1/d^2$.

A validade da lógica gravitacional para padrões em macroescala também é demonstrada por Noulas et al. (2012) e Brockman, Hufnagel e Geisel (2006). Ao assumir que fluxo de pessoas conecta locais, esses dois estudos quantificam a probabilidade de dois locais estarem conectados de acordo com a distância entre eles. As mesmas pesquisas não apresentam a massa dos locais conectados, todavia apresentam que o valor do expoente de d é próximo de -2, assim como no modelo gravitacional. Por fim, Krings et al. (2009) corroboram aquela mesma validade ao demonstrarem forte congruência entre a intensidade de comunicação intermunicipal obtida e a esperada por modelo gravitacional.

Entretanto, para microescala, a lógica gravitacional demonstra diversas limitações. Krings et al. (2009) demonstram que a intensidade média de comunicação entre cidades não é bem descrita por $1/d^2$ para $d < 10km$. Corroborando, Noulas et al. (2012) comprovam que o modelo de *rank* expressa, com precisão consideravelmente maior ao ser comparado com o modelo gravitacional, o funcionamento de deslocamentos humanos de curta distância.

Assim, constata-se que a conectividade de pessoas (rede interpessoal) e de cidades (rede intermunicipal) é bem aproximada pelo modelo gravitacional. Além de pessoas e cidades, a distância descreve bem a conectividade de locais (considerando que fluxos de pessoas os conectam). As constatações expressas perdem considerável validade para distâncias curtas (especialmente para as menores do que 10km). Ainda, como Noulas et al. (2012) afirmam que a lógica do *rank* capta comportamento universal de deslocamento humano (que retrata a

conectividade de locais), o modelo gravitacional, para distâncias não curtas, provavelmente é uma boa aproximação dessa lógica de *rank*.

Já sobre a dicotomia entre nível micro (redes interpessoais) e nível macro (redes intermunicipais), as primeiras demonstraram distribuição de grau bem aproximada por lei de potência com $\gamma = 8,4$ em Onnela et al. (2007) e $\gamma = 5$ em Lambiotte et al. (2008). Já sobre a rede intermunicipal analisada, a distribuição de grau seguiu distribuição lognormal. Entretanto, essa mesma distribuição caracteriza o ordenamento dessas cidades de acordo com seus tamanhos populacionais e, uma vez que essa rede segue modelo gravitacional (KRINGS et al., 2009), tal distribuição lognormal pode ter tido grande peso na distribuição de grau da rede.

Além de redes interpessoais demonstrarem regularidades, elas são capazes de gerar, combinadas com redes de infraestrutura, propriedades para cidades (WEST, 2017). Ainda, redes intermunicipais explicam propriedades de seus componentes (também cidades) (KHIALLI-MIAB et al., 2019).

4.6 Propriedades de cidades

Diversas propriedades de cidades, como o PIB municipal e o número de casos de AIDS, podem ser descritas, com considerável precisão, simplesmente por sua população total (BETTENCOURT et al., 2007). Mais especificamente, essas propriedades são captadas pela comparação da população total de cidades de um mesmo país (WEST, 2017).

Matematicamente, a relação entre propriedades e população é dada por $Y(t) = Y_0 N(t)^\beta$, onde $Y(t)$ é a métrica (propriedade) avaliada (como PIB municipal), $N(t)$ é a população da cidade e Y_0 é uma constante de normalização. A população é empregada como medida do tamanho de cidades (BETTECOURT et al., 2007), assim, é compreensível que aquelas propriedades, válidas para comparações entre municípios, descritas por lei de potência (com o expoente β), sejam chamadas de *leis de escala*⁶¹, dado que escala “simplesmente se refere, em sua forma mais elementar, a como um sistema responde quando seu tamanho muda” (WEST, 2017, p. 15).

Para aprofundar a compreensão da relação de propriedades de cidade com sua população total, inicialmente é necessário assimilar que cidades são compreendidas em dois componentes. Um é a estrutura física (manifesta como, por exemplo, ruas e prédios) e, o outro, são as suas

⁶¹Pelo fato de os fractais demonstrarem vínculos com leis de potência (MITCHELL, 2009), eles também se atrelam a essa lei de escala. West (2017, p.131) afirma que “Escala de lei de potência é a expressão matemática de auto-similaridade e fractalidade”.

dinâmicas socioeconômicas (manifestas como, por exemplo, ideias e criação de riqueza). Ambos são sistemas de redes e, em relação um ao outro, são interconectados e interdependentes (WEST, 2017).

A lei de escala que caracteriza a estrutura física é descrita por lei de potência com expoente de valor aproximado de 0,85 (sublinear, isto é, inferior a 1). Ou seja, uma cidade quando aumenta em 100% sua população, aumenta apenas 85% sua infraestrutura, que descreve economia de escala (WEST, 2017; BETTENCOURT et al., 2010). Já referente às dinâmicas socioeconômicas, métricas de suas manifestações são as quantidades socioeconômicas, como número de casos de AIDS, número de patentes e criação de riqueza. Relativo a essas quantidades, diferente do comportamento manifestado no componente físico da cidade, a lei de escala vigente é superlinear (descrita por expoente maior do que 1), que segue lei de potência cujo valor aproximado do expoente é 1,15 (WEST, 2017; BETTENCOURT et al., 2007; BETTENCOURT et al., 2010). Essa última lei de potência indica que cidades maiores produzem e consomem riqueza em ritmo mais acelerado do que cidades menores. A mesma lei indica também que cidades maiores criam novas ideias com maior frequência e sofrem com maior incidência de crime. Todas essas indicações ocorrem com intensidade semelhante (expressa pelo expoente 1,15) (BETTENCOURT et al., 2010).

Assim, os expoentes que determinam como o componente físico (representado pela infraestrutura) e as dinâmicas socioeconômicas (correspondente a quantidades socioeconômicas) se comportam conforme o tamanho de cidades é alterado apresentam a mesma diferença (em módulo) perante a “um” ($1,15 - 1 = 0,15$; $0,85 - 1 = -0,15$). Em coerência, afirma-se que a cidade física é uma representação inversa (e não linear) da cidade social (WEST, 2017).

Ainda, há uma terceira lei de escala válida para cidades. Essa é linear (segue lei potência com expoente igual a um) e é normalmente atrelado a necessidades humanas individuais, como número de casas e consumo de água (WEST, 2017; BETTENCOURT et al., 2007). Por fim, tem-se que o ritmo da vida urbana aumenta com o tamanho da cidade (BETTENCOURT et al., 2007). Por exemplo, a velocidade do caminhar, em relação com a população total de cidades, aumenta de acordo com lei de potência cujo expoente aproximado é 1,1 (WEST, 2017).

4.6.1 Origem das leis de escala

Diante de todas essas regularidades universalmente válidas, são questionadas suas origens. Inicialmente, como todas as leis de escala são descritas apenas com base na população

total dos municípios (BETTENCOURT et al., 2007; WEST, 2017), conclui-se que o aspecto social tem grande importância para explicar aquelas regularidades.

De maneira mais precisa, todas as métricas socioeconômicas, que refletem conectividade social, são proporcionais ao número de interações que ocorrem entre pessoas dentro da cidade (WEST, 2017). Destarte, as leis de escala (que mostram que cidades são mais do que a soma linear de seus componentes) são manifestações de interações (não-lineares) em dinâmicas sociais (BETTENCOURT et al., 2010).

Métricas (empíricas) confirmam essas afirmações. Como a comunicação em celular é, em geral, um representante confiável da força das interações interpessoais (SARAMÄKI et al., 2014), foi coletado o volume de ligações por telefone, assim como o tempo gasto efetuando essas. Os dados coletados são relativos a Portugal (considerando celulares) e ao Reino Unido (telefones fixos). Foram contadas apenas as chamadas recíprocas. Na análise dos resultados identificou-se, perante o tamanho da população de cidades desses países, o crescimento superlinear da conectividade entre pessoas. Tal crescimento segue lei de potência com expoente que possui valor aproximado de 1,15 (WEST, 2017).

Ainda, o coeficiente de agrupamento médio manteve-se aproximadamente constante em relação a variações no tamanho populacional de cidades (isto é, o coeficiente de agrupamento médio foi aproximadamente o mesmo para cidades de distintos tamanhos). Tais resultados preveem aceleração, conforme cidades aumentam suas quantidades de habitantes, em fenômenos propagativos fundamentados em interações. Isso é confirmado por modelo (SCHLÄPFER et al., 2014). Dado que o aumento de velocidade de fenômenos propagativos é um ingrediente essencial para explicar a escala (superlinear) de determinadas quantidades socioeconômicas (tomado o tamanho populacional) (BETTENCOURT, 2013b), os resultados, como um todo, devem prover base, em nível micro, para compreensão dos aumentos superlineares em distintas quantidades socioeconômicas (SCHLÄPFER et al. 2014).

Em abordagem teórica, o L_{max} possibilita melhor compreensão das leis de escala. O L_{max} , de acordo com a equação que o determina ($N \times (N - 1) / 2$), aumenta muito mais rápido do que N ; $N^2/2$ descreve boa aproximação do crescimento de L_{max} (WEST, 2017). Logo, caso as medidas socioeconômicas fossem determinadas por L_{max} , pelo seu crescimento, elas apresentariam lei de escala com expoente a dois. Tal potência é superlinear, assim como acontece de fato, todavia, é bem maior do que 1,15. Existem explicações para tal discrepância. Uma dessas indica que a disparidade fundamenta-se no limite de interações apresentada por Dunbar. Esse limite descreve que pessoas apresentam dificuldade em manter relações significativas com mais do que 150 indivíduos, o que limita a rede social (WEST, 2017).

Outra explicação para aquela discrepância se sustenta em um fato: interações socioeconômicas (representadas por redes sociais) devem estar ancoradas no âmbito físico de cidades (representado pelas redes de infraestrutura), desse modo, a integração entre esses dois tipos de redes é o que determina o número de interações que um habitante médio é capaz de sustentar. Logo, como “simplesmente não podemos estar em todos os locais em todos os momentos”, o número de interações é restringido (WEST, 2017, p. 319). Quando as limitações físicas são impostas na rede social, o número de interações que uma pessoa média mantém escala inversamente ao grau que a infraestrutura escala com o tamanho da cidade. Isso origina a simetria entre escala infraestrutural e de quantidades socioeconômicas (manifesta nos respectivos expoentes) (WEST, 2017).

De maneira mais precisa, é modelado o funcionamento interativo interpessoal de uma cidade de acordo com aspectos físicos da última. Nessa abordagem, A representa a área de uma cidade; N sua população. É pressuposto que interações sociais (como de amizade ou trabalhista) são locais, ocorrem em uma área de interação a_0 e possuem força g_k , dado que k descreve o tipo de conexão social. Os parâmetros, g_k , podem ser positivos ou negativos. A primeira categoria expressa um benefício social (como relações econômicas mutuamente benéficas), já a segunda expressa custo social (como crime). (BETTENCOURT, 2013b).

Em continuidade, o número médio de interações locais por pessoa é determinado pela multiplicação da densidade populacional, $n = N/A$, pelo volume percorrido pelo movimento de pessoas, $a_0 l$, onde l representa a típica distância viajada por pessoas, informações e bens. O produto social médio total de uma cidade é o produto do número total de interações pelo resultado médio de interações $\bar{g}$. Dado que $G = \bar{g} a_0 l$ (isto é, mensura a multiplicação do produto social médio pela área, ambos per capita), obtém-se $Y = G n N^2 / A$ (BETTENCOURT, 2013b).

Ainda, assume-se que, mesmo caso pessoas (na cidade) explorem locais distintos em tempos distintos, qualquer indivíduo pode ser alcançado por outro (cidades misturam populações). Isso implica que o custo por pessoa de uma população em mistura é proporcional ao diâmetro L da cidade, onde $L \sim A^{1/2}$. Assim, onde ε é uma força por unidade de tempo, a potência total gasta (em processos de transporte) para manter a cidade misturada é $T = \varepsilon A^{1/2} N$. Tal custo deve ser coberto pelo orçamento de cada indivíduo, $y = Y/N$. Isso requer $y \simeq T/N$ e, ao equalizar T com y_{min} , é obtida a relação entre área e população $A = a N^\alpha$, onde $\alpha = 2/3$ e $a = (G/\varepsilon)^\alpha$ (BETTENCOURT, 2013a). Assim, tem-se $Y = Y_0 N^\beta$ onde $Y_0 = G^{1-\alpha} \varepsilon^\alpha$ e $\beta = 2 - \alpha = 1 + 1/3 > 1$. Logo, tal modelo implica que A e Y variam respectivamente,

sublinearmente e superlinearmente perante N . Apesar desses bons resultados, conforme cidades crescem, os espaços tornam-se ocupados e transportes (de pessoas, informações e bens) ocorrem por redes, destarte β nesse modelo é superestimado. O espaço formado por tais redes fornece a métrica correta do número de interações que acontecem em cidades (BETTENCOURT, 2013b).

Assim, em modelo mais preciso, são tomadas quatro premissas. A primeira afirma que os recursos mínimos que cada habitante dispõe, $Y_{min}/N \sim GN/A$, combine com o custo de alcançar qualquer local na cidade. Como os trajetos não necessariamente são lineares, sua geometria é generalizada por uma dimensão fractal, H , de modo que a distância viajada $\propto A^{H/D}$. Ao combinar densidade de interação com custos, é obtido $A(N) = aN^\alpha$, com $\alpha = \frac{D}{D+H}$ em D dimensões (tomado $D = 2$); $H = 1$ permite indivíduos explorarem a cidade dentro da menor distância viajada (BETTENCOURT, 2013b).

A segunda premissa requer que redes de infraestrutura se desenvolvam (de maneira gradual) para conectar pessoas. Quando a distância média entre pessoas, $d = n^{-1/2} = (A/N)^{1/2}$, iguala o comprimento médio de rede de infraestrutura per capita, tem-se a área total da rede $A_n(N) \sim Nd = A^{1/2}N^{1/2}$. Isso implica, conjuntamente com a primeira premissa, $A_n \sim a^{1/2}N^{1-\delta}$ onde $\delta = \frac{1}{6}$ [$A_n \sim A^{1/D}N^{(D-1)/D} = a^{1/D}N^{1-\delta}$ com $\delta = \frac{H}{D(D+H)}$ em D dimensões. A terceira premissa constata a limitação do inerente ao esforço humano, que requer que G , em média, seja independente de N . Por fim, a quarta premissa afirma que produtos socioeconômicos são proporcionais a interações sociais locais, assim, $Y = \frac{GN^2}{Na} \sim N^{1+\delta}$. Fundamentado nesse arcabouço de premissas, é obtido $A_n = A_0N^v$ com $v = \frac{5}{6}$, $Y = Y_0N^\beta$ onde $\beta = \frac{7}{6}$ e interações per capita, $\bar{I}_i = I_0N^\delta$, com $\delta = \frac{1}{6}$ (BETTENCOURT, 2013b).

A concentração espacial e a aceleração temporal de interações sociais possuem impactantes paralelos qualitativos em outros sistemas (também movidos por forças atraentes e que se tornam mais densos com a escala) (MILGRAM, 1970). O mais familiar desses são as estrelas, as quais queimam de maneira mais rápida e brilhante (superlinearmente) com o aumento de massa. Destarte, as cidades, considerando a sua função principal, podem ser percebidas como reatores sociais, em contraste com a comparação engendrada pelo formato das mesmas: ao invés de reatores, são similares a vasculaturas de organismos biológicos (BETTENCOURT, 2013b).

4.6.2 Estabilidade e desvios da expectativa fornecida pela população

O tamanho de uma cidade (sua população) fornece seu comportamento médio esperado. Assim, ao considerar o esperado, desvios indicam idiosincrasias de cidades. Com base nessas especificidades, são obtidas justas comparações inter cidades. Os desvios do esperado são quantificados por ξ , chamados de Indicador Metropolitano Ajustado à Escala (IMAE) (BETTENCOURT et al., 2010).

Para determinar IMAE, inicialmente é identificada a reta ajustada por mínimos quadrados da população total perante uma variável de interesse (isso ao seguir as leis de escala descritas). Tomado isso, o IMAE é o resíduo. Mais precisamente, as unidades espaciais de análise consideradas, ao invés de municípios, foram as Áreas Estatísticas Metropolitanas (AEM) do Estados Unidos. As AEMs são unidades socioeconômicas definidas por fluxos de passageiros, assim, essa definição de cidades enfatiza interações sociais (BETTENCOURT et al., 2010).

Embasado nisso, foram calculadas correlações cruzadas das séries temporais de IMAEs. As cidades que apresentam maiores correlações cruzadas apresentam, além de performance similar, histórias locais similares. Essas similaridades sugerem pensar nessas cidades como parentes que apresentam, ao evoluir, vantagens e desafios em comum. Ainda, como as correlações cruzadas podem ser empregadas como medida de similaridade, as cidades são agrupadas. Um dos grupos, por exemplo, é formado por cidades de alta tecnologia, como São Francisco, São José e Minneapolis (BETTENCOURT et al., 2010).

Já ao observar as propriedades dos IMAEs (e não o que esses descrevem de cidades), a variação em quantidades locais, correspondentes a distintas cidades no mesmo ano, é bem caracterizada (estatisticamente) por uma distribuição de Laplace $\phi(\xi) = (1/2s) \exp(-|\xi|/s)$. Na equação, s parametriza a largura da distribuição (BETTENCOURT et al., 2010).

Figura 68 – Histograma que expressa a frequência de resíduos (IMAE) e a distribuição de Laplace (linha vermelha)

Fonte: Adaptada de Bettencourt et al. (2010, p. 3).

O valor de s (representa a magnitude de desvios da escala e demonstra estabilidade em longos períodos temporais), para patentes, crimes violentos e quantidades econômicas (como renda) é, respectivamente, 0,42; 0,17 e 0,07. Assim, para quantidades econômicas, o tamanho de cidades é capaz de prever de 93% até 96% de variação entre cidades; para crimes violentos, esse valor é de 86% e, para patentes, de 65 até 70% (BETTENCOURT et al., 2010).

O IMAE também pode ser analisado sob o aspecto temporal, como feito para as correlações entre suas séries temporais, todavia, com enfoque para cada cidade (e não para relações entre essas). Sob esse ângulo, o IMAE demonstra fortes regularidades temporais, como expresso na figura 69. Exemplos são Phoenix e San Jose. A primeira manteve um estável fraco IMAE em desempenho econômico. Tal estabilidade resistiu até ao fato de a população da cidade ter quase quadruplicado no período avaliado. Já San Jose demonstrava características inovadoras na década de 1960, antes mesmo do estabelecimento do Vale do Silício (BETTENCOURT et al., 2010).

Figura 69 – A estabilidade temporal do IMAE

A primeira figura (A) trata de renda, a segunda (B), de patentes.

Fonte: Adaptada de Bettencourt et al. (2010, p. 4).

Assim, cidades apresentam persistência temporal muito maior do que típicas iniciativas políticas e do que a participação de indivíduos. Também, políticas de incentivo de crescimento populacional (com intuito de se beneficiar dos efeitos da aglomeração) não demonstram grandes utilidades, uma vez que as possíveis fraquezas das cidades são mantidas ou até aumentadas. Da estabilidade temporal também decorre que mudanças fundamentais em dinâmicas urbanas, apesar de difíceis, compensam, uma vez que tendem a se manter por longos períodos de tempo (BETTENCOURT et al., 2010).

Ainda, ao serem removidos os efeitos do tamanho populacional, pode ser afirmado que cidades que demonstram bom desempenho em renda tendem a apresentar bom desempenho em

patentes. Também é válido o fato de que mau desempenho nas duas variáveis anteriormente mencionadas demonstra correlação positiva com altas taxas de crime violento (com exceções) (BETTENCOURT et al., 2010).

As razões que explicam os IMAEs ainda não são bem conhecidas. Uma possível explicação para eles são relações funcionais dentro e entre áreas metropolitanas (KHALI-MIAB et al., 2019).

4.6.3 Combinação de perspectiva intraurbana com interurbana

Como já descrito, as leis de escala são oriundas de dinâmicas interpessoais intramunicipais. Nessa perspectiva, são desconsideradas dinâmicas externas ao município. Dado que Camagni, Gibelli e Rigamontt (2002) demonstraram a importância da configuração urbana em economia, a desconsideração de vínculos externos ao município pode ser uma falha de estudo daquelas leis. Khiali-Miab et al. (2019) contribuíram para sanar essa possível lacuna ao combinarem, em análise de métrica municipais, leis de escala (determinadas pela população do município, que constitui ângulo intramunicipal) com redes interurbanas.

As últimas são compostas por 2944 cidades suíças (nós) que estão ligadas por fluxos de passageiros diários em dias de trabalho (arestas). A análise dessa rede é fundamentada no conceito de policentricidade. O conceito de policentricidade considera a existência de múltiplos centros funcionais, assim como conexões distribuídas entre os centros na organização dos sistemas urbanos. Uma medida de rede que pode ser útil como indicador de policentricidade é a hierarquia da rede. A hierarquia é empregada para mensurar o padrão geral de nós em termos da influência que possuem sobre outros nós (KHALI-MIAB et al., 2019).

Uma medida de hierarquia é a Centralidade de Alcance Global (CAG). Ela mensura a heterogeneidade do alcance de centralidades de municípios em uma área metropolitana. Para seu cálculo, inicialmente deve ser calculada a centralidade de alcance local $C_R(i)$, determinada por $C_R(i) = \frac{1}{N-1} \sum_{j:0 < d(i,j) < \infty} \frac{1}{d(i,j)}$, onde $d(i,j)$ é o número de passos necessários pela rede para o nó i alcançar o j . Se todos os nós da rede estiverem no alcance do nó i , $C_R(i)$ é igual a 1, que é o valor máximo possível de C_R . Já a heterogeneidade de alcance de centralidades, mensurada pelo CAG, é determinada por $GRC_\sigma = \frac{\sum_{i \in V_\sigma} [C_R^{Max} - C_R(i)]}{N-1}$, onde C_R^{Max} é o maior valor de C_R dentre todos os nós da área metropolitana σ , N é a quantidade de nós da rede e V_σ é o conjunto de nós situados em σ (KHALI-MIAB et al., 2019).

Com o CAG, somado às leis de escala e aos IMAEs, áreas metropolitanas (determinadas por conjuntos de cidades da rede intermunicipal empregada por esse estudo) foram avaliadas. Nessas avaliações, foi encontrada significativa correlação negativa entre CAG e o logaritmo da renda média. Também foi constatado que o tamanho populacional e o CAG explicaram, com boa precisão, a variação em rendas médias em áreas metropolitanas da Suíça. Ainda, dado que a mediana da renda é preferida, em relação à média, como um indicador de status socioeconômico, variações na mediana da renda foram ainda mais bem explicadas pelas mesmas variáveis. Por fim, foi identificado que o IMAE demonstra correlações válidas com o CAG. Assim, as variáveis socioeconômicas são mais bem explicadas com a combinação de ambos os conceitos: leis de escalonamento (KHALI-MIAB et al., 2019), referentes às redes interpessoais intramunicipais e a policentricidade, avaliadora da rede intermunicipal, formada por conexões do município com agentes externos a ele.

Como a rede interurbana demonstra importância para descrever os IMAEs e aquela rede é bem descrita por modelo gravitacional (KIRNGS et al., 2009), que se fundamenta em distância geográfica (LAMBIOTTE et al., 2008; KRINGS et al., 2009), são apresentadas correlações cruzadas entre IMAEs e distância geográfica. Como resultado, foram obtidas correlações espaciais de curto alcance. As correlações espaciais médias significantes desaparecem para distâncias maiores do que 200 km. Assim, proximidade geográfica não é um bom determinante de similaridade, todavia, para distâncias menores do que 200 km, a proximidade demonstra validade para descrever comparações de IMAEs (BETTENCOURT et al., 2010).

Figura 70 – Distribuição espacial de IMAEs em 2006

Círculos vermelhos representam desvios acima do esperado, o contrário do que círculos azuis representam. O tamanho do círculo expressa o tamanho do IMAE.

Fonte: Adaptada de Bettencourt et al. (2010, p. 5).

Logo, tomadores de decisões políticas devem buscar problemas e soluções análogas as suas próprias cidades em cidades similares àquelas, sem grande consideração da proximidade territorial (BETTENCOURT et al., 2010). Entretanto, excetuada a lógica da similaridade, os mesmos tomadores de decisão devem considerar a rede interurbana em que a cidade está inserida, uma vez que ela é capaz de descrever idiossincrasias de cidades (KHALI-MIAB et al., 2019).

5 SAÚDE NO BRASIL

A saúde pública é organizada e, em grande parte financiada, pelo Estado. Além desse vínculo entre saúde pública e Estado, a federação, como forma de Estado, sempre esteve vinculada à política de saúde brasileira (VIANA; MACHADO, 2009). Ainda, saúde e Estado tratam de conectividade e integralidade (ALMEIDA, 2001; BRESSER-PEREIRA, 2014).

O Estado trata de integralidade por ter contribuído para a unicidade do país. (BRESSER-PEREIRA, 2014). A saúde também engendrou, no Brasil, o fortalecimento da integralidade. Isso ocorreu em dois distintos momentos, que demonstram distintas características. No primeiro, datado no fim do século XIX e início do século XX, a saúde contribuiu para a expansão da autoridade estatal sobre o território (LIMA; FONSECA; HOCHMAN, 2005). Isso segue lógica de escopo nacional, isto é, visa-se que o país todo se integre. Nesse momento, a saúde funciona como um meio para atingir tal fim.

Já no segundo, iniciado em 1988 e ainda não finalizado, a integralidade, vinculada à saúde, segue lógica intermunicipal/regional. Também contrastante com o primeiro momento, nesse segundo, a integralidade teve a saúde como um fim.

O segundo momento divide-se em duas fases. Na primeira, a integralidade foi enfraquecida pela saúde. Assim, foram desenvolvidos sistemas de saúde fragmentados. Na segunda fase, tais sistemas foram caracterizados (especialmente em 2006) pela integralidade. A fase fragmentada desse último é marcada pela competição intermunicipal (TEIXEIRA, 2003). Por outro lado, a segunda possui, como objetivos e planejamento, o desenvolvimento de rede de cooperação (BRASIL, 2006a) e apresenta estruturas marcadas por ações cooperativas (MENDES, 2011). Esse segundo momento descreve o fenômeno da regionalização da saúde.

5.1 Sístoles, diástoles e integralidade

5.1.1 *O Estado e a integralidade do Brasil*

A construção do Estado brasileiro pode ser pensada como uma luta permanente entre centralização e federalismo. De acordo com Golbery do Couto e Silva, esse fenômeno pode ser visto como um processo de sístoles e diástoles (BRESSER-PEREIRA, 2014). Tal processo, enquanto o Estado ainda não era consolidado no Brasil, não tratava apenas de alteração de forma de Estado, mas sim de manutenção (ou não) da integralidade do país.

Mais precisamente, na era imperial (na qual o Estado brasileiro foi construído), o Brasil era marcado por fragmentação de território e de poder. A primeira é expressa pela grande extensão territorial, incondizente com a capacidade de comunicação e transportação do país. A segunda, pelo grande poder que os senhores de terra detinham (BRESSER-PEREIRA, 2014).

Mesmo nesse contexto, foi impedido o fracionamento político-territorial do país; a lei do Estado foi estendida para toda a população do Brasil (BRESSER-PEREIRA, 2014). Entretanto, persistiram pressões para que ocorresse a fragmentação do país (ALMEIDA, 2001). A isso é somada a incapacidade do Império de resolver problemas nacionais (BRESSER-PEREIRA, 2014), com ênfase para a abolição da escravidão (PRADO JÚNIOR, 1933/1957). No cenário descrito, o Império cai e ascende uma estrutura federativa, cristalizada pela Constituição de 1891.

5.1.2 O Estado, a saúde e a integralidade do Brasil

No período federativo, para ações de saúde e saneamento, facultou-se aos estados a possibilidade de obter auxílio federal por meio de convênios. Essa atividade possibilitou ação do poder central nos estados sem ferir a autonomia dos últimos. Tal arranjo configurou “uma fórmula cooperativa”, que viabilizou a propagação do poder da União para todo o território nacional (HOCHMAN, 1998). Assim, nesse período, as políticas de saúde colaboraram para a formação de autoridade estatal sobre o território (LIMA; FONSECA; HOCHMAN, 2005; BAPTISTA, 2007).

Pela dissipação de autonomia, o destino da saúde pública era determinado por estados e municípios. Todavia, como os dois últimos eram desprovidos de organização e comandados por interesses clientelistas, na Primeira República, era questionada a falta de um Estado forte para enfrentar os desafios de saúde pública (VIANA; MACHADO, 2009). Ainda, como já mencionado, a fragmentação de poder fazia-se presente no Brasil.

Os problemas da carência de Estado e da fragmentação do poder foram atacados pela Revolução brasileira, iniciada na década de 1930. Segundo Machado (1980, p. 190), “a grande preocupação da Revolução brasileira foi a constituição de um novo Estado capaz de manter a unidade nacional, o equilíbrio das forças sociais, e dirigir a nação acima das oligarquias regionais e promover a industrialização”. Nesse período, o poder estatal se condensa na União e o projeto federalista é abandonado (BRESSER-PEREIRA, 2014).

Também em 1930 foi iniciada a revolução capitalista no Brasil, revolução essa que se estende até 1980. A revolução capitalista acontece para cada povo quando esse último se torna

uma nação, cria um Estado soberano, domina um território e realiza sua revolução industrial. Como “Nenhum país realizou sua revolução capitalista no quadro de um regime democrático” (BRESSER-PEREIRA, 2014, p. 114), a década de 1930 também é marcada pela centralização de poder no Estado perante a sociedade.

Assim, a partir desse ponto, a interpretação dos movimentos centralizadores/descentralizadores pode dar-se sobre a relação Estado/sociedade (dimensão socioestatal). Isto é, pode ser analisado se o Estado mostra-se apto para demonstrar características democráticas ou se ignora e/ou sufoca interesses populares. Até o momento analisado, o segundo comportamento expresso predominou de maneira quase absoluta (FAUSTO, 1995).

Apesar de as dimensões socioestatal e federativa (que trata da relação de União com estados e municípios) terem demonstrado tendência centralizadora, no mesmo período, a saúde demonstra características descentralizadoras. Isso é expresso, por exemplo, pela consolidação do Ministério da Educação e Saúde Pública (MESP) (que coexistia com o Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio), cuja política é formada em torno da relação entre poder local (vinculado aos estados) e federal (FONSECA, 2007).

Em coerência, a partir da segunda metade da década de 1950, começaram a ser formuladas propostas de descentralização, nas quais estavam inclusos temas voltados diretamente para a saúde (LUZ, 2000). Isso é expresso pelo movimento “sanitarismo desenvolvimentista”, que era contrário à centralização decisória e à fragilidade dos governos locais (LIMA; FONSECA; HOCHMAN, 2005). Também, no ano de 1963, foi efetuada a III Conferência Nacional de Saúde, que propôs a municipalização dos serviços de saúde (ESCOREL; TEIXEIRA, 2008).

No mesmo período dessa Conferência, o Brasil era marcado por crise financeira (BRESSER-PEREIRA, 2014). Como resultado dela, após período iniciado em 1930 e finalizado em 1963, marcado por regimes autoritários e democráticos, a tendência centralizadora (na relação Estado/sociedade) consolida-se e ocorre a ditadura militar, que dura de 1964 até 1985. Esse período, além de apresentar centralização em arena social, é caracterizado por concentração de poder na União (VIANA; MACHADO, 2009).

Já, em meados da década de 1970, ocorrem (novamente) problemas econômicos, assim, foi iniciada a definição e novas estratégias para manter o governo. Dentre essas encontra-se a política de abertura do governo. Desse modo, o isolamento da sociedade em relação ao poder é abrandado (BAPTISTA, 2007). Além disso, em 1980, a revolução capitalista já havia sido realizada no Brasil. Após a realização da revolução capitalista, a forma de apropriação do

excedente econômico não mais depende do controle do Estado e passa a dar-se por meio do lucro. Assim, a burguesia liberal, por não mais necessitar do Estado, é a primeira classe dominante que não impõe veto absoluto à democracia (BRESSER, PEREIRA, 2014). Nesse contexto, no meio da década de 1980, a democracia retorna ao Brasil.

Em sequência, especialmente do fim da década de 1980 até o fim da década de 1990, ocorre intensificação da descentralização, enfatizada a dimensão federativa. Isso para o Estado e, mais especificamente, para a saúde pública.

5.2 A intensificação da descentralização

No fim da década de 1980, o projeto federalista sai vencedor de forma efetiva. Isso cristaliza-se na CRFB/88 (BRESSER-PEREIRA, 2014). Essa última redesenha “a estrutura do Estado em uma lógica de federação descentralizada, com ênfase no papel dos municípios” (VIANA; MACHADO, 2009, p. 810). Mais especificamente, a CRFB/88 define os municípios como entes federativos com autonomia política e administrativa. Isso, somado à existência da repartição de recursos de estados e União para municípios, caracteriza o fenômeno do federalismo municipal (MINAS GERAIS, 2004).

Em sequência, com o intuito de obter maior eficiência e qualidade nos serviços prestados, implanta-se a Reforma do Estado (1995), que prevê distintas formas de descentralização dos serviços públicos. Tal reforma deixou como herança a intensificação da descentralização administrativa e a introdução de diversos atores que participam no processo de desenvolvimento de políticas públicas (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010).

Assim, em suma, o movimento da redefinição da esfera pública (que ocorre especialmente entre 1988 e 1995) possui, como elemento central, “[...] a descentralização, isto é, o deslocamento das decisões para as esferas sub-nacionais de governo (estados e municípios), estabelecendo-se vínculos de parcerias verticais e horizontais” (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010, p. 13).

A intensificação da descentralização (com ênfase para a dimensão federativa) ocorre também no âmbito da saúde. Antes de conhecer essa última descentralização, é útil conhecer o sistema afetado por tal descentralização: o Sistema Único de Saúde (SUS).

5.3 O Sistema Único de Saúde

O SUS, criado pela CRFB/88, é o maior sistema público de saúde do mundo (KLERING; PORSE; GUADAGNIN, 2010). Ele atende cerca de 190 milhões de pessoas, sendo que 80% dessas dependem exclusivamente desse sistema para tratar da saúde (BRASIL, 2008?).

Ações e serviços públicos de saúde que integram o SUS são desenvolvidos de acordo com diretrizes e princípios (BRASIL, 1990a). Os princípios do SUS são: universalidade, equidade e integralidade. Já as diretrizes são: regionalização e hierarquização; descentralização e, por fim, participação da comunidade (MATTA, 2007).

A universalidade determina que todos os cidadãos brasileiros têm direito ao acesso às ações e serviços de saúde (BRASIL, 2013?). Essa determinação, aparentemente estrita à compreensão biomédica do processo saúde/doença, na verdade faz-se valer em escopo mais amplo. Isso pois a Constituição afirma que as condições de saúde da população são geradas pelo contexto econômico e social brasileiro. Assim, além do desafio de proporcionar acesso às ações e serviços de saúde, a universalidade insere o desafio de proporcionar “a universalidade das condições de vida que possibilitem boas condições de saúde” (MATTA, 2007, p. 69).

Já a equidade refere-se a tratar desigualmente o desigual e, assim, buscar investir mais onde a iniquidade é maior (MATTA, 2007). Por outra ótica, equidade em saúde refere-se à redução das diferenças consideradas desnecessárias, evitáveis e injustas (VIANA; FAUSTO; LIMA, 2003).

Em sequência, sobre a integralidade, que é o princípio restante, ele

[...] diz respeito à garantia do acesso a um conjunto articulado e contínuo de ações e serviços preventivos e curativos, individuais e coletivos, exigidos para cada caso em todos os níveis de complexidade do sistema, devendo o sistema de saúde proporcionar ao indivíduo ou à coletividade, as condições de atendimento, de acordo com as suas necessidades (MATTA, 2007, p. 69).

Para atender a integralidade (e também a equidade), o sistema de saúde deve apresentar organização em redes regionalizadas que garantam escala necessária na oferta de determinados bens e serviços (ANDRADE, 2002; KUSCHNIR; CHORNY, 2010). Assim, a CRFB/88 aponta que ações e serviços públicos de saúde integram rede regionalizada e hierarquizada. Desse modo, a saúde pública é caracterizada por duas dimensões que, conjuntamente, dizem respeito à primeira diretriz do SUS mencionada. Essas dimensões são a regional e a hierárquica.

A primeira ataca a fragmentação do sistema de saúde em nível regional (MINAS GERAIS, 2004; WAGNER, 2006; DOURADO; ELIAS, 2011); a segunda indica que serviços de saúde são organizados em níveis crescentes de complexidade. A hierarquização também

deve garantir formas de acesso a serviços da complexidade requerida para cada caso (BRASIL, 2017).

Já a diretriz da descentralização reforça a importância dos executivos subnacionais na direção da política da saúde (LIMA et al., 2012). Mais especificamente, essa diretriz corresponde à distribuição de responsabilidades, poder político e recursos da esfera federal para a estadual e a municipal (MATTA, 2007). Por fim, a participação da comunidade refere-se à participação popular e ao controle social em saúde (ROLIM; CRUZ; SAMPAIO, 2013).

5.3.1 A descentralização da saúde: a ênfase nas partes e olvido do todo

O Brasil é um país gigante em extensão territorial (8,5 milhões de quilômetros quadrados) e com uma das maiores populações do mundo (211 milhões de habitantes) (IBGE, 2012; IBGE, 2020). Ainda, no Brasil são manifestas grandes diferenças econômicas, culturais, sociais, demográficas e sanitárias. Essas diferenças são visíveis entre as regiões brasileiras e também dentro delas. Tal cenário faz com que a descentralização seja necessária para a viabilização de políticas públicas (MINAS GERAIS, 2004).

Nesse contexto, é compreensível que a política de saúde anterior ao SUS, caracterizada pela fragmentação institucional e pelo papel subalterno de estados e municípios, tenha sido problemática (VIANA; MACHADO, 2009). A CRFB/88 sanou esse problema ao transformar o município no principal responsável pela saúde pública e pela gestão das ações de saúde ofertadas em seu território (KLERING; PORSSE; GUADAGNIN, 2010). Esse movimento é fortalecido, no início da década de 1990, pela edição de duas leis. Essas são as Leis Orgânicas da Saúde (LOS) nº 8.080 e nº 8.142 de 1990 (BRASIL, 1990a; BRASIL, 1990b).

O fortalecimento dos municípios é aprofundado pela efetivação da Norma Operacional Básica nº 01/91 (NOB 01/91). No mesmo sentido, a NOB SUS/93, que tinha como lema a municipalização do SUS, impulsionou a municipalização dos serviços de saúde. Em seguida, a NOB 01/96 “estabeleceu o pleno exercício do poder municipal da função de gestor da atenção à saúde” (MINAS GERAIS, 2004, p. 21-22).

5.3.1.1 O paradigma da municipalização autárquica e seus problemas

O processo de descentralização do SUS, através da devolução⁶² municipalizada, com forte centralização de financiamento na União e sem a participação dos estados, consolidou (com a NOB 01/96) o paradigma da municipalização autárquica (cogerado pelo federalismo municipal e o movimento municipalista) (MINAS GERAIS, 2004). A descentralização pela municipalização autárquica teve benefícios, como a:

[...] entrada em cena de inúmeros atores envolvidos na formulação e execução das ações; a democratização do setor, com ampliação da participação social; a melhoria do acesso às ações e serviços, devido à expansão da cobertura assistencial, tanto na atenção básica quanto de serviços mais complexos; e o êxito no controle de uma série de doenças evitáveis (BRASIL⁶³, 2004 apud MINAS GERAIS, 2004, p. 32).

Todavia, o paradigma da municipalização autárquica proporciona problemas que excedem os benefícios daquele. Isso pois esse paradigma passou a mensagem de que o município deveria ser capaz de ofertar o maior número de serviços de saúde possível (MINAS GERAIS, 2004).

Tal incentivo, propagado em cenário descrito por 75% dos municípios possuírem menos de 20 mil habitantes, gerou extrema fragmentação dos serviços de saúde. Ou seja, as partes (cidades) se fortalecem, distinto do que ocorre com as conexões entre elas. Isso é expresso pelo fato de o período referente às duas LOS mencionadas ser “marcado pela ausência dos elementos necessários à identificação de regiões e à construção de políticas de regionalização efetivas” (DUARTE; CONTEL, BALBIM, 2013, p. 155), assim como pelas NOBs citadas não especificarem a figura de região de saúde.

Como o município expande a assistência à saúde e não efetua articulação regional, ocorrem significativas deseconomias de escala e de escopo. Ainda, essas deseconomias proporcionaram baixa qualidade dos serviços ofertados (MINAS GERAIS, 2004).

Um exemplo de quebra de escala econômica é fornecido pela comparação do número de hospitais vinculados ao SUS e a quantidade de leitos que esses possuem. De acordo com a literatura internacional, a escala econômica mínima é de 200 leitos. No Brasil, em 2001, apenas 7% daqueles hospitais possuíam 200 ou mais leitos (MENDES, 2002; MINAS GERAIS, 2004).

⁶²“Descentralização” é dividida em distintas formas. A devolução é uma delas e diz respeito à transferência de poder decisório de uma organização governamental para outra de nível subnacional. Nesse processo, a última organização adquire autonomia política e administrativa (MINAS GERAIS, 2004).

⁶³ BRASIL. Ministério da Saúde. **A regionalização da saúde**. Brasília/DF, 2004. (Versão preliminar para discussão interna).

Já para mensurar a qualidade (que também proporciona impactos na eficiência), é tomado o percentual de internações hospitalares por condições sensíveis à atenção ambulatorial. Esse indicador capta aquelas condições que poderiam ser evitadas pela presença de uma atenção primária de saúde de qualidade, ou aquelas condições que são internadas de maneira desnecessária (BILLINGS; ANDERSON). No Brasil, em 2001, retirados os partos (por não serem condições patológicas), as internações pagas pelo SUS que foram por condições sensíveis à atenção ambulatorial representaram 33,8% do total das internações pagas pelo SUS (ALFRADIQUE; MENDES, 2002). No mesmo ano, essas internações por condições sensíveis à atenção ambulatorial são, em grande parte, concentradas em hospitais pequenos (MENDES, 2002). Isso expressa, além de baixa qualidade, desperdício de recurso. Por fim, a municipalização autárquica também gerou, em grave quadro de restrições financeiras, competição intermunicipal por recursos escassos (TEIXEIRA, 2003).

Nesse cenário descrito, marcado pela fragmentação de serviços de saúde, é necessário acoplar estratégias que promovam integralidade e equidade de acesso ao processo de descentralização. A regionalização, ao induzir a formação de sistemas de saúde mais funcionais e relações intergovernamentais mais cooperativas, constitui uma daquelas estratégias (BRASIL⁶⁴, 2004 apud MINAS GERAIS, 2004).

5.3.2 A descentralização da saúde: a lógica sistêmica

Já em meados de 1998, a fragmentação do sistema de saúde demonstra sinais de queda. Isso é expresso pela descentralização, nesse período, ter sido acoplada

[...] a estratégias de indução da organização da rede [...], sendo intensificados esforços de resgate do papel dos estados. [...]. Busca-se no período substituir um embate federalista vertical entre União e municípios por outro horizontal, interregiões, intermunicípios e interestados. (VIANA; MACHADO, 2009, p. 812).

Em coerência, o problema fragmentação apontou nas Normas Operacionais de Assistência à Saúde de 2001 (NOAS/2001) para a necessidade de organizar espaços territoriais de forma a contemplar as macrorregiões, microrregiões e regiões de saúde, onde se articulariam as redes assistenciais (MINAS GERAIS, 2004). Assim, nos anos 2000, a conformação de redes

⁶⁴BRASIL. Ministério da Saúde. **A regionalização da saúde**. Brasília/DF, 2004. (Versão preliminar para discussão interna).

de saúde e indução da regionalização entraram na agenda. O período iniciado em 2001 e finalizada em 2005, marcado pelas NOAS/2001 e NOAS nº 2/2002 (ALBUQUERQUE; VIANA, 2015), descreve o início da regionalização (VIANA et al., 2018).

As NOAS explicitam que o processo de regionalização deve contar com lógica de planejamento integrado. Nesse processo, deve ser compreendida a noção de conformação de sistemas funcionais de saúde, sistemas esses não necessariamente restritos à abrangência municipal. No mesmo processo, também deve ser compreendida a noção de territorialidade na identificação de prioridades de intervenções (DUARTE; CONTEL; BALBIM, 2013).

Essa clara aproximação da política de regionalização de ações de saúde com os conceitos básicos de ordenamento territorial possui um exemplo concreto. Esse é a elaboração das regiões de saúde (DUARTE; CONTEL; BALBIM, 2013).

A região de saúde é um dos conceitos principais do Plano Diretor de Regionalização (PDR). Tal plano (estabelecido pela NOAS/01) também apresenta conceitos como “município-sede” e “município-polo”. Nos termos “polo” e “sede”, está inserida a noção de centralidade, assim como no estudo de regiões (expresso, por exemplo, por Christaller). Todavia, nas NOAS, a inserção de municípios nessas categorias dependia de aspectos administrativos. Isso demonstra limites da conceituação e emprego da regionalização, ainda parcialmente presa ao campo administrativo da saúde (DUARTE; CONTEL; BALBIM, 2013).

Ainda referente ao mesmo período, as regras da regionalização foram consideradas rígidas e pouco efetivas (BRASIL, 2004⁶⁵ apud ALBUQUERQUE; VIANA, 2015). Também, pela concepção hierárquica do sistema, pela extrema burocratização e a responsabilização difusa, a norma não pegou⁶⁶ (MENDES, 2003). O próprio Ministério da Saúde (MINAS GERAIS, 2004) afirma que os aspectos nucleares da NOAS, no máximo, foram efetuados de maneira parcial.

Para lidar com problemas dessa regionalização, é moldado um novo paradigma.

5.3.2.1 Do paradigma da municipalização autárquica para o da regionalização cooperativa

Em análise histórica dos serviços de saúde, ao propor novo paradigma para a regionalização da saúde, afirma-se que:

⁶⁵BRASIL. Ministério da Saúde. **A regionalização da saúde**. Brasília/DF, 2004. (Versão preliminar para discussão interna).

⁶⁶Todos esses problemas são discutidos na parte da dissertação que trata de gestão de redes.

Parece ter razão quem diz que os movimentos da história são pendulares. O traço forte de um sistema centralizado de serviços de saúde, rompido pela reforma sanitária brasileira, deu origem a um movimento de municipalização autárquica, levando o pêndulo para uma contraposição polar. É hora de voltar ao ponto de equilíbrio, o que significará maximizar as inegáveis fortalezas da descentralização por devolução municipalizada e, ao mesmo tempo, tratar de minimizar suas debilidades. Isso significará, na prática social, superar o paradigma da municipalização autárquica e consolidar, em seu lugar, o paradigma da regionalização cooperativa. (MINAS GERAIS, 2004, p. 33).

O paradigma da regionalização cooperativa trata de associação de municípios contíguos e propõe o reconhecimento de um espaço privilegiado: a microrregião de saúde. Nessa, os municípios (componentes da microrregião sanitária), associados entre si e com apoio da União e da secretaria estadual de saúde, devem gerir ações de atenção primária e secundária à saúde (MINAS GERAIS, 2004).

“Ao se associarem, os municípios da microrregião devem constituir um sistema microrregional de serviços de saúde – sob a forma de uma rede de atenção à saúde -, com base na cooperação gerenciada, gerando, pela sua ação solidária, um excedente cooperativo”. Mais especificamente sobre a cooperação gerenciada, “o componente da cooperação é dado pela associação intermunicipal e o componente gerencial explicita-se em mecanismos de planejamento, controle e avaliação compartilhados de redes microrregionais de atenção à saúde” (MINAS GERAIS, 2004, p. 35).

5.3.2.2 Regionalização a partir de 2006

A partir de 2006, com a instituição do Pacto pela Saúde, que se encontra sob clara influência do paradigma de regionalização solidária, o processo de regionalização do SUS se consolida (MENDES et al., 2015). Uma vez que regionalizar o sistema de saúde é formar regiões de saúde como recortes territoriais em espaços geográficos contínuos (SILVA; GOMES, 2014), a definição de região de saúde é útil para compreender mudanças que ocorrem no processo de regionalização.

De acordo com a Portaria nº 399 de 2006, que divulga o Pacto pela Saúde:

As Regiões de Saúde são recortes territoriais inseridos em um espaço geográfico contínuo, identificadas pelos gestores municipais e estaduais a partir de identidades culturais, econômicas e sociais, de redes de comunicação e infra-estrutura de transportes compartilhados do território. (BRASIL, 2006a, online).

Assim, as regras para conformações de regiões de saúde são flexibilizadas (ALBUQUERQUE; VIANA, 2015; DUARTE; CONTEL; BALBIM, 2013). Isso possibilitou a existência de recortes mais adequados às realidades locais (ALBUQUERQUE; VIANA, 2015). Essa flexibilização demonstra, também, percepção multidimensional da saúde (DUARTE; CONTEL; BALBIM, 2013).

A partir das portarias GM/MS nº 399/2006 e nº 699/2006, foram estabelecidas, em 2007, no estado de São Paulo, 64 regiões de saúde (SÃO PAULO, 2015; SÃO PAULO, 2010?). Além delas, o Pacto pela Saúde institui macrorregiões de saúde. Essas:

São arranjos territoriais que agregam mais de uma Região de Saúde, de qualquer modalidade, com o objetivo de que elas organizem, entre si, ações e serviços de média e alta complexidade, complementando desse modo a atenção à saúde das populações desses territórios. A identificação das Macrorregiões de Saúde deve considerar, também, os critérios de acessibilidade entre as regiões agregadas [...]. (BRASIL, 2006b, p. 23).

Macrorregiões no estado de São Paulo são denominadas de Departamento Regionais de Saúde (DRS) (FERREIRA, 2009). A partir de 2006 existem 17 DRS no estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2015).

Apesar da importância da definição de região, esse período marcado pelo Pacto pela Saúde (especialmente de 2006-2010), apresenta como questão mais importante, de acordo com Albuquerque e Viana (2015), o uso do termo de rede de cooperação entre os três entes federados. Isso é importante dada a necessidade de fortalecer a cooperação e coordenação intergovernamental na gestão do SUS (ALBUQUERQUE; VIANA, 2015).

Mesmo com os diversos avanços produzidos pelo Pacto pela Saúde (BRASIL, 2006a), desde seu início até 2010, ainda existia “intensa fragmentação das ações e serviços de saúde” (BRASIL, 2010, online). Como uma solução para esse problema, a Portaria nº 4.279/2010 estabelece diretrizes para organização das Redes de Atenção à Saúde (RAS).

Em coerência, o Decreto nº 7.508/2011 intensifica a regionalização (MENDES et al., 2015). Ele define região de saúde como um:

[...] espaço geográfico contínuo constituído por agrupamentos de Municípios limítrofes, delimitado a partir de identidades culturais, econômicas e sociais e de redes de comunicação e infraestrutura de transportes compartilhados, com a finalidade de integrar a organização, o planejamento e a execução de ações e serviços de saúde. (BRASIL, 2011, online).

Ele também define RAS como “conjunto de ações e serviços de saúde articulados em níveis de complexidade crescente, com a finalidade de garantir a integralidade da assistência à saúde” (BRASIL, 2011, online).

Outra definição de RAS é fornecida por Mendes (2011). Ele afirma que RAS são organizações poliárquicas de conjuntos de serviços de saúde vinculados entre si. Esse vínculo ocorre pela existência de objetivos comuns, missão única e por ação cooperativa e interdependente, que possibilitam a oferta de atenção contínua e integral a determinada população, coordenada pela atenção primária à saúde (prestada com tempo, local, custo e qualidade certos, com equidade e de forma segura e humanizada), com responsabilidade econômica e sanitária pela população adstrita e gerando valor para essa última (MENDES, 2011).

“A proposta das RAS define a região como ‘sanitária’, baseada em sua população alvo e abrangência espacial que extrapola o recorte das regiões de saúde”. Nesse contexto, é possível estabelecer regiões mais dinâmicas e flexíveis, diferente dos desenhos instituídos como regiões de saúde (ALBUQUERQUE; VIANA, 2015, p. 36).

Assim, de acordo com mudanças na indução da regionalização e na conformação de redes de saúde, Albuquerque e Viana (2015) não tratam o período iniciado em 2006 até o momento que o estudo abrange (2015) como homogêneo, mas sim dividem esse período em duas fases. A primeira, inicia-se em 2006 e termina em 2010, a segunda, inicia-se em 2011 e estende-se até o limite temporal do estudo (2015).

6 ASPECTOS METODOLÓGICOS

6.1 Classificações da pesquisa

Foi efetuada uma comparação entre dois elementos (SIUSP e sistemas complexos) que buscou, por meio de semelhanças observadas (interconectividade e interatividade, que caracterizam ambos os elementos), identificar outra semelhança não observada. Assim, por meio de analogia (PARRA FILHO; SANTOS, 2002), foi formulada a hipótese que a SIUSP apresenta emergentes, que é a semelhança não observada.

Figura 71 – A similaridade entre um sistema complexo e a SIUSP

A figura do lado esquerdo representa um sistema complexo. A segunda, a SIUSP, na qual as esferas representam cidades e ACPs. Nessa, as interrogações laterais questionam a existência de emergentes na SIUSP; já a interrogação central expressa o desconhecimento do arranjo emergente na SIUSP, caso existente.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando outras propriedades da SIUSP, caso ela apresente emergentes, ela pode ser categorizada como um sistema complexo. A classificação da SIUSP como um sistema complexo é empregada como premissa para execução de processo dedutivo. Ele necessariamente gera conclusões corretas caso suas premissas sejam verídicas (SALMON, 1978; MARCONI; LAKATOS, 2003). O processo dedutivo efetuado conta com diversas premissas; apenas uma, sustentada naquela hipótese (a SIUSP apresenta emergentes), não possui sua veracidade confirmada. Assim, ao testar a confiabilidade da hipótese, testa-se, consequentemente, a veracidade da conclusão do processo dedutivo realizado.

Figura 72 – Lógica para alcance do objetivo geral

Fonte: Elaborada pelos autores.

O resultado final da conclusão desse processo dedutivo, combinado à averiguação de compatibilidade entre o vigente paradigma da SPPIM e o PVMH (sob a perspectiva de propriedades de sistemas complexos), possibilita o alcance do objetivo geral da pesquisa. A robustez desse alcance é corroborada caso o teste de veracidade da conclusão do processo dedutivo descrito pela figura 72 tenha se sustentado no PVMH.

Tomada a natureza de tal objetivo, a pesquisa alinha-se com o desenvolvimento, o esclarecimento e a modificação de conceitos e ideias, que visa formular problemas mais precisos. Destarte, a pesquisa demonstra, considerando seus objetivos, característica de pesquisa exploratória (SELLTIZ; WRIGHTSMAN; COOCK, 1965; 1965; GIL, 1999).

Ainda sobre o objetivo da pesquisa, ele sustenta-se na premissa de que a SIUSP é um sistema complexo. Como sistemas complexos devem ser compreendidos por meio de redes (BARABÁSI, 2014), o objetivo da pesquisa deve ser alcançado por meio de análise de redes. As últimas, para serem significativas, tendem a necessitar de dados. O emprego dos últimos também demonstra utilidade sob a perspectiva de ferramentas e informações disponíveis para análise do elemento estudado. Logo, a pesquisa utiliza dados estruturados (no caso, variáveis

que descrevem propriedades de cidades e ACPs), o que a classifica, quanto a sua natureza, como quantitativa (MATTAR, 2001).

Por outra perspectiva, para a efetuação do objetivo geral, os resultados obtidos devem ser interpretados. Ainda, o estudo proporciona melhor compreensão do contexto do problema. Essas são duas propriedades típicas de pesquisa qualitativa (MALHOTRA, 2001; DE OLIVEIRA, 2011). Assim, de acordo com o consenso aparentemente existente de que ideias de abordagens quantitativas e qualitativas devem ser encaradas como complementares (MALHOTRA, 2001; LAVILLE; DIONNE, 1999), o estudo foi construído com aspectos quantitativos e qualitativos.

Os dados coletados são secundários, disponibilizados pelo departamento de informática do SUS (DATASUS) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dado o caráter exploratório da pesquisa, foram coletadas e utilizadas muitas medidas (variáveis) sobre cidades. Isso enquadra a técnica de análise de dados da pesquisa como estatística multivariada (HAIR Jr et al., 2005). Isso foi efetuado com o intuito de enriquecer a literatura por meio de extração de conteúdos subjacentes à mensagem analisada. Também, a análise estatística efetua-se pela busca de afirmação de uma hipótese. Desse modo, a técnica de análise de dados da pesquisa também categoriza-se como análise de conteúdo (BARDIN, 1977; DE OLIVEIRA, 2011).

6.2 Métodos utilizados

6.2.1 Diretrizes

O alcance do objetivo geral demanda a busca por emergentes na SIUSP e análise de coerência entre o vigente da SPPIM e o PVMH (sob a ótica de efeitos gerados por conexões entre elementos). Tal coerência é averiguada por pesquisa bibliográfica. Já os emergentes são buscados por meio de identificação, na SIUSP, de indícios de propriedades de emergentes, isso por meio de tratamento de dados e interpretação dos mesmos.

Como emergentes são coerentes, manifestos como coletivos integrados (WOLF; HOLVOET, 2005) e uma comunidade é, em redes, um conjunto de nós que possuem maior probabilidade de conectarem-se entre si do que com nós de outras comunidades (BARABÁSI, 2014) (assim, comunidades demonstram certa coerência interna) comunidades da SIUSP (em nível de emergentes, que descreve a saúde de seus nós), são tomadas como os possíveis

emergentes. Por isso, os três procedimentos que visam captar indícios de propriedades de emergentes na SIUSP se fundamentam nas comunidades da última.

Há consolidado campo de pesquisas que agrupa (em semelhança com detecção de comunidades) AEMs de acordo com as similaridades que apresentam. Esse campo é o que analisa leis de escala de cidades (descrito na revisão de literatura), que pouco descreve relações exteriores de cidades, isto é, relações entre cidades (WEST, 2017; BETTENCOURT, 2013). Assim, os agrupamentos identificados por aquele campo de pesquisa não são diretamente úteis para o alcance do objetivo geral. Esses agrupamentos descrevem o que uma cidade produziu em um ano, por exemplo, o PIB per capita de determinado ano.

Destarte, no estudo aqui desenvolvido, os objetivos não são alcançados por agrupar elementos urbanos (que são cidades cuja população total supera 50 mil habitantes e ACPs, os nós da SIUSP analisados pelo estudo) de acordo com o que elas apresentaram, mas sim de acordo com suas variações (mensuradas por variáveis). Nesse cenário, como a identificação de similaridade entre elementos é útil para agrupá-los (JOHNSON; WICHERN, 2007), elementos urbanos são agrupados de acordo com a similaridade que apresentam em suas variações.

Os resultados desses procedimentos são redes ponderadas não dirigidas, cujos nós são elementos urbanos. O peso de cada aresta é determinado pela similaridade de variação que dois elementos urbanos apresentaram em um mesmo período e em uma mesma variável. Essa similaridade deve captar fenômenos exteriores aos elementos urbanos (uma vez que emergentes tratam de relações inter elementos, e não intra elementos) que impactam nesses.

6.2.2 Diretrizes para aplicação de tratamento de dados

Os dados que sofrem tratamentos são descritos por variáveis. Como distintas variáveis representam distintos aspectos de elementos, variáveis são sempre consideradas isoladamente de todas as outras variáveis; isto é, em nenhum momento um tratamento de dados mescla duas variáveis.

Em sequência, afirma-se que o estudo é composto por distintos tratamentos de dados⁶⁷. Em sua essência, o real intuito de todos os tratamentos é identificar similaridade entre elementos. Nesses termos, três tratamentos funcionam como meio para atingir tal intuito. Dois desses demonstram tal funcionalidade pelo contexto em que são executados; eles são: transformação de dados (em *ln*) e regressões lineares simples. Já o terceiro tratamento

⁶⁷Todos os procedimentos que envolvem tratar elementos numéricos foram executados com a utilização dos softwares *Microsoft Excel*, *MATLAB* e *R*.

demonstra aquela funcionalidade descrita por sua natureza matemática: como é sempre possível formar similaridades a partir de distâncias, distâncias são calculadas. Por simplicidade, toda distância calculada nesta pesquisa segue o formato da distância euclidiana. A distância euclidiana entre dois pontos P e Q de coordenada $P = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ e $Q = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ é dada por $d(P, Q) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_p - y_p)^2}$ (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Por fim, os cálculos que, de fato, identificam similaridades, se dividem em dois tipos. O primeiro se fundamenta em $d(P, Q)$, mensura similaridade entre (dois) elementos urbanos e emprega apenas uma observação de cada um desses elementos. Tal cálculo segue o formato de $\tilde{s}_{PQ} = \frac{1}{1+d(P,Q)}$, onde $1 \geq \tilde{s}_{PQ} > 0$ é a similaridade entre P e Q (JOHNSON; WICHERN, 2007). Já o segundo cálculo mensura similaridade entre (duas) redes e se fundamenta no índice de similaridade de Jaccard. O último, dado que a similaridade é buscada entre A e B , é descrito por $J = \frac{C}{A+B-C}$; J é o índice mencionado, A é o número de elementos presentes em a , B é o número de elementos presentes em b e C é o número de elementos presentes em a e b (REAL, 1999).

6.2.3 Seleção da extensão temporal da pesquisa

Para o alcance do objetivo geral, o estudo deve abordar acontecimentos que demonstram possível capacidade de alterar o comportamento do sistema, isso para averiguar existência de dinamicidade, propriedade vinculada à emergência (WOLF; HOLVOET, 2005). Um desses principais acontecimentos, no âmbito da saúde pública, é a consolidação da regionalização do SUS. Também, ao abranger essa transição, o estudo serve como base para outros estudos futuros especificarem os efeitos da regionalização do SUS na SIUSP. Logo, é útil a extensão temporal do estudo abranger a consolidação da regionalização do SUS.

A regionalização do SUS consolida-se em 2006 (MENDES et al., 2015). Destarte, a percepção de propriedades vinculadas ao processo de regionalização do SUS torna-se possível ao serem comparados períodos anteriores com posteriores a 2006. De acordo com Albuquerque e Viana (2015), a partir de 2011, a regionalização assume outras propriedades. Assim, agregá-las ao período 2007-2010 seria agrupar elementos que podem ser dissimilares. Logo, o período posterior a 2006 estende-se até 2010.

São pouco conhecidas as propriedades de redes descritas por similaridades de variações que elementos urbanos apresentam (construídas no trabalho aqui desenvolvido). Assim, longas

extensões temporais podem gerar informações que dificultem as análises aqui buscadas. Logo, o período anterior a 2006 escolhido deve ser, assim como o posterior, curto (composto por poucos anos).

Para a escolha temporal desse período anterior, é feita outra consideração: a saúde é multidimensional (ERDMANN et al., 2004) e, assim, relaciona-se com condições socioeconômicas (SPAGNUOLO; GUERRINI, 2005). Logo, alterações em condições socioeconômicas provavelmente impactam na saúde, o que torna o cenário de análise do estudo muito complexo.

Com o intuito de mitigar efeitos dessas alterações (e simplificar o estudo), sob a perspectiva de tais alterações, visa-se que o período anterior a 2006 seja similar ao posterior a 2006. Para mensurar alterações em condições socioeconômicas, é utilizada a Taxa de Crescimento Real do PIB do Brasil (TCRPB) (PRODUTO..., s.d.). A similaridade entre períodos é aqui quantificada pelos valores mais próximos possíveis de média e desvio padrão de TCRPB. Nesses termos, o período anterior a 2006 selecionado foi o 2003 – 2005. Assim, a extensão temporal da pesquisa é 2003 – 2010.

Por fim, a granularidade temporal adotada é anual, ou seja, as variáveis descrevem algo em um intervalo de tempo de um ano. Isso foi escolhido pois futuros procedimentos executados consideram as leis de escala de cidades (WEST, 2017; BETTENCOURT et al., 2010) e essas usualmente são descritas ao analisar dados descritos em termos de um ano.

6.2.4 Coleta e seleção de variáveis

Pela natureza da pesquisa, seus procedimentos contam com exclusão (eliminação) de elementos vinculadas a variáveis. Assim, foi buscado coletar um significativo número de variáveis (expressas em valores absolutos, uma vez que isso facilita posteriores procedimentos) distintas, representantes de distintos aspectos das cidades.

Pelo tema da pesquisa, a fonte deve apresentar dados referentes à saúde de cidades. Nesses termos, a fonte selecionada foi o DATASUS (s.d.). Como o DATASUS trata essencialmente de saúde, todas as variáveis coletadas nessa fonte são consideradas como descritoras da saúde.

Todas as coletas de dados foram manuais. Elas seguiram diretrizes que possibilitaram garimpar significativa quantidade de variáveis em tempo viável. Ao mesmo tempo, tais procedimentos são constituídos por ações bem definidas. Detalhes de como foi feita são demonstrados no Apêndice A. A divisão temporal das variáveis é anual, isto é, elas apresentam,

uma vez ao ano, dados que descrevem cidades. Após a coleta foram eliminadas todas as variáveis que não possuem, ao menos, 70% de dados existentes para cada um dos 8 anos que a pesquisa considera (2003-2010).

6.2.5 Variações Anuais Ajustadas

Coletadas as variáveis, visa-se identificar similaridade de variação entre cidades. Para isso ser concretizado, inicialmente, é útil filtrar efeitos vinculados à população de cidades, isto é, mitigar uma propriedade intracidade. Estritamente com esse intuito, são empregados procedimentos fundamentados em IMAE, uma vez que ele capta as especificidades de cidades perante a população total das mesmas (BETTENCOURT et al., 2010).

Para manter essa fundamentação, em coerência com os AEMs, sobre o fluxo de passageiros (BETTENCOURT et al., 2010), semelhante à Khiali-Miab et al. (2019), algumas cidades são agrupadas com outras. Tais grupos são descritos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008), que são as ACPs. Elas são manchas urbanas contínuas, caracterizadas por tamanho e densidade da população, urbanização e coesão interna da área (descrita em termos de deslocação da população para trabalho ou estudo) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008). Os núcleos urbanos que, a partir deles, se desenvolvem ACPs, são expressos como ACPs (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, s.d.) e tratados como ACPs (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008), por isso, esses núcleos serão chamados de ACPs e são o referencial dos próximos procedimentos.

Assim, nesse ponto, cidades componentes de uma ACP são fundidas, isto é, passam a representar apenas uma (que é o núcleo urbano dessa ACP). Os valores de variáveis de cidades fundidas também são integrados de maneira coerente (como as variáveis são expressas em valores absolutos, são somados seus valores referentes às cidades fundidas). Em sequência, também similar aos AEMs, o estudo passa a considerar apenas cidades que apresentam mais do que 50 mil habitantes (METROPOLITAN ..., 1994). Os elementos restantes (cidades cuja população supera 50 mil habitantes e ACPs) são os elementos urbanos.

Em sequência, para cada ano e variável, separadamente de todo o resto, a população total⁶⁸ e os dados referentes à variável (de todos os elementos urbanos considerados) são

⁶⁸Considerada sempre a de 2007, uma vez que ela demonstra forte tendência a ser uma boa representante da quantidade total de habitantes de todos os elementos urbanos e anos que o estudo considera.

transformados logaritmicamente ($\ln$ é a transformação efetuada). Em sequência, é identificada a reta ajustada por mínimos quadrados da relação entre as variáveis descritas (população e determinada variável) (MEIRELLES et al., 2018).

Cada regressão que obteve valor $p > 0,05$ ou $r^2 < 0,5$ foi considerada estatisticamente insignificante. Assim, os resultados delas não foram utilizados. Os resultados de todas as outras regressões foram utilizados (MEIRELLES et al., 2018). No caso, os resultados utilizados são os resíduos (BETTENCOURT et al., 2010).

Na próxima etapa, as variáveis e anos que apresentam resíduos calculados têm suas variações anuais ajustadas, VAAs, determinadas por $\sqrt{(Residv1t_x - Residv1t_{x+1})^2}$, onde $Residv1t_x$ é o valor de resíduo de $v1$ no ano x de um elemento urbano e $Residv1t_{x+1}$ é o valor de $v1$ no ano $x + 1$ do mesmo elemento urbano que $Residv1t_x$ trata. Ou seja, variações anuais são calculadas apenas se fundamentadas em dois resíduos.

Para dar prosseguimento aos procedimentos, ressalta-se que é necessário que, para ser caracterizado como um emergente, um comportamento, padrão ou estrutura (situados em nível macro) deve ser formado por interações entre componentes do sistema em nível micro (WOLF; HOLVOET, 2005). Assim, é necessária obtenção de métrica referente a interatividade de cidades.

6.2.6 Rede de Interações Interurbanas

Emergentes são criados por interações entre componentes de um sistema (WOLF; HOLVOET, 2005). Assim, como a liberdade para interagir, as possibilidades de interação e a velocidade de interação da rede interurbana em escopo abrangente (que considera, por exemplo, fluxo de mercadorias e de pessoas entre cidades) tendem a ser significativamente maiores do que as de redes de saúde intermunicipais (como regiões de saúde, marcadas por aspectos burocráticos), é razoável assumir que o primeiro tipo de rede demonstre maior tendência a gerar emergentes, isso perante o segundo tipo de rede. Logo, na busca por indícios de propriedades emergentes, a rede de interações considerada é a existente em escopo abrangente. Ou seja, essa rede é considerada a estrutura interativa da SIUSP; na figura 71, do lado direito, seria a imagem de baixo. A estrutura em nível de emergentes da SIUSP, na mesma figura e mesmo lado, seria a imagem de cima.

Sobre a rede de interações entre cidades de escopo abrangente, destaca-se que o modelo gravitacional demonstra utilidade para captar fluxos e interações entre centros urbanos

(INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008). Assim, não são distinguidos os possíveis distintos tipos de interações, isto é, as interações são tratadas com grande abrangência e baixa especificidade. Em coerência com essa generalização, a rede intermunicipal construída pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), mesmo ao fundamentar-se apenas em transporte de pessoas entre cidades (isto é, fluxo de pessoas entre cidades), fundamenta estudo cujo intuito é evidenciar mais a relação entre municípios do que o setor de transporte (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). Por isso, essa rede, construída pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) é considerada para representar interações entre cidades.

Tal rede é ponderada e não dirigida. Essa rede abrange o país todo, isto é, trata de cidades (que são os nós da rede) de todo o Brasil. Todavia, o estudo aqui desenvolvido visa analisar apenas as cidades do estado de São Paulo. Assim, para garantir simplicidade, é testada a possibilidade de efetuar eliminação de todas as outras cidades.

Para isso, são formadas duas redes. A primeira aceita todas as arestas que apresentam ao menos um nó (cidade) paulista. A segunda é composta por apenas arestas que conectam dois nós paulistas. A soma do peso de todas as arestas da última foi dividida pela soma do peso de todas as arestas da penúltima.

Foi obtido que a rede que considera apenas cidades do estado de São Paulo representa grande parte (75,13%⁶⁹) da composta por arestas em que pelo menos um nó é uma cidade paulista. Isso é notável, dado que a primeira rede apenas 46,85% da quantidade total de pares de nós ligados que a segunda apresenta. Assim, por combinar simplicidade e representatividade, o estudo considera e visa caracterizar, em todas suas etapas e dimensões, apenas as cidades situadas no estado de São Paulo.

Para que exista completa consonância entre os elementos urbanos analisadas e a rede que representa interações entre cidades paulistas, tal rede é alterada. Os nomes dos nós de cidades fundidas são substituídos pelo nome do município de maior população da ACP. Em sequência, são excluídas as arestas que conectam um mesmo nó (isto é, as arestas que conectam o nó A ao nó A). Ainda, as arestas que conectam um mesmo par de nós têm seus pesos somados e apenas uma dessas arestas é mantida. Como resultado, às arestas (e peso dessas) da principal cidade de uma ACP são somadas as arestas de todas as outras cidades componentes dessa ACP.

⁶⁹ Se excluída apenas a cidade de São Paulo da rede que aceita apenas arestas que apresentam ao menos um nó paulista, essa porcentagem ascende para 87,9%. Assim, grande parte das conexões externas ao estado de São Paulo concentram-se em apenas uma cidade, o que implica que grande maioria das cidades desse estado pouco apresentam conexões externas a esse estado, isso perante conexões internas.

Em uma última etapa, as cidades excluídas (por não apresentarem mais do que 50 mil habitantes) são completamente excluídas da rede aqui discutida.

A seguir, destaca-se que os dados coletados para a construção da rede interativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) são referentes a 2016. Já as variáveis empregadas pelo estudo para captar relações entre cidades tratam dos anos de 2003 até 2010. Logo, visa-se mitigar a possível discrepância entre a rede interativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) e a rede interativa que era vigente no ano de 2007. Esse ano é escolhido pois é ponto médio, resultante de arredondamento, dos anos a que as variáveis referem-se. Pela validade do modelo gravitacional para analisar fluxos entre cidades (LAMBIOTTE et al., 2008), procedimentos que visam àquela mitigação são fundamentados nesse modelo.

Como a equação do último considera a população total de municípios, é calculada a diferença entre essa medida do ano de 2007 em relação ao ano de 2016. Mais especificamente, para cada par de elementos urbanos, é efetuado $P_{A1} \times P_{B1} / P_{A2} \times P_{B2} = Alt$ e, posteriormente, $Alt \times P_{A2} = P_{A1}$. Nesses cálculos, P_{A1} e P_{B1} são, respectivamente, população total do elemento urbano A no ano de 2007 e população total do elemento urbano B no mesmo ano. Já $P_{A2} \times P_{B2}$ são, respectivamente, população total do elemento urbano A no ano de 2016 e população total do elemento urbano B no mesmo ano. Ainda, *Alt* é a alteração da força gravitacional, desconsiderada a distância, entre dois elementos urbanos, comparados os anos de 2007 e 2016. Por fim, P_{A2} é o peso da aresta da rede interativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) e, P_{A1} , o peso da aresta a ser considerado na estrutura interativa interurbana do estado de São Paulo (chamada de Rede de Interações Interurbanas, RII).

Além da população total, o modelo gravitacional considera distâncias entre os elementos urbanos. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007) considera a distância de acordo com o meio de transporte em que o deslocamento ocorre. Assim, a distância pode ser dada por sistema rodoviário.

Não foi encontrado acesso aberto a tais dados, assim, foi solicitada ao DER a informação de alteração da conectividade entre cidades (variações de proximidade entre cidades). O desenho do sistema rodoviário no ano de 2007 (e de anos próximos) também foi solicitado ao Google Brasil. Do último também foram conferidas ferramentas pagas online para coletas de dados.

As alterações no sistema rodoviário não foram obtidas. Assim, foram desconsideradas por não haver maneira confiável de alterá-las e por não haver nenhum fato que comprove

mudança significativa no sistema rodoviária (no sentido de aproximar ou afastar cidades) no período analisado.

6.2.7 Redes Interurbanas embasadas em Similaridades de VAAs

Em sequência, a análise é voltada para as VAAs. Com base nelas, é calculada a medida de similaridade de variação entre elementos urbanos. Para tanto, inicialmente é calculada a medida de distância entre elementos urbanos, tomadas as VAAs. Essa distância entre os elementos i e k é: $d_{ik} = \sqrt{(VAA_i - VAA_k)^2}$, onde VAA_i é a variação anual ajustada do período x na variável z para o elemento urbano i e sua única diferença para VAA_k é que a última refere-se ao elemento urbano k . Assim, d_{ik} é uma medida de distância da intensidade e de VAAs entre dois elementos urbanos ao considerar uma mesma variável e um mesmo período.

Embasada nessa distância, é obtida $\tilde{s}_{ik} = \frac{1}{1+d_{ik}}$ (JOHNSON; WICHERN, 2007, p. 677).

A $\tilde{s}_{ik}$ mensura a similaridade da intensidade da variação anual entre dois elementos urbanos em uma variável e em um período.

Em sequência, ao considerar cada período (determinado pela conjunção de dois anos de máxima proximidade temporal, como 2004-2003) e variável isoladamente de todos os outros, são eliminadas as similaridades mais fracas. Isso é efetuado até que o número total de similaridades existentes seja idêntico ao número de arestas existentes na RII. Isso é feito para eliminar possíveis similaridades não significativas e obter número total final de similaridades comparável à quantidade de interações entre elementos urbanos (expressa na RII).

Ao considerar apenas as similaridades restantes, tratando de cada variável e período separadamente de todo o resto, cada similaridade entre cada par de elementos urbanos é considerada um peso de aresta que conecta esses elementos. As redes resultantes são as Redes Interurbanas embasadas em Similaridades de Variações Anuais Ajustadas (RIUSVAAs).

6.2.7.1 Utilidade de RIUSVAAs

RIUSVAAs oriundas de variáveis que tratam de saúde são consideradas representantes da SIUSP em nível de emergentes. Isso pois elas se enquadram na definição de nível de emergentes da SIUSP. Elas podem expressar tácita lógica interurbana; comunidades de elementos urbanos demonstrarem consistentes padrões (embasados em similaridades de

variações anuais ajustadas) é um indício da existência de tal lógica. Assim, nas RIUSVAAs são buscados indícios de propriedades de emergentes com o intuito de inferir sobre a SIUSP.

De maneira mais precisa, os três posteriores procedimentos (6.2.8.1; 6.2.8.2; 6.2.8.3) visam identificar correntes de RIUSVAAs (e enfatizam comunidades de suas redes, uma vez que comunidades são candidatas a serem emergentes) que apresentam indícios de possuírem propriedades emergentes. As propriedades de emergentes são fundamentadas no exposto em Wolf e Holvoet (2005).

Correntes de RIUSVAAs, correntes de redes ou simplesmente correntes são todas as RIUSVAAs (que apresentam máxima proximidade temporal entre si) de uma mesma variável. Caso a corrente analisada não apresente quatro ou mais redes consecutivas embasadas em VAA, ela é excluída. Correntes que possuem quatro ou mais redes consecutivas (isto é, existe máxima proximidade temporal entre as redes) embasadas em VAAs são transformadas em correntes puras de VAAs (todos seus outros períodos são desconsiderados).

Os procedimentos que captam correntes que apresentam indícios de possuírem propriedades de emergentes sempre lidam com cada corrente de maneira isolada de outra. Os mesmos procedimentos devem lidar com esse elemento pouco conhecido (RIUSVAAs e suas correntes, no Apêndice B são demonstradas pesquisas relacionadas à RIUSVAAs). Assim, tais procedimentos buscam demandar baixo nível de informação para tomar decisões. Cada um desses procedimentos busca, nas correntes, satisfatórios indícios de propriedades de emergentes. O satisfatório é aqui considerado como a maioria absoluta, que implica em mais satisfazer o almejado do que não satisfazer.

Esses três procedimentos utilizam comunidades. Como pequenas alterações em redes podem gerar significativas alterações mesoscópicas nas redes (MORINI et al., 2017), isso afeta aqueles três procedimentos. Entretanto, o impacto exato que isso exerce sobre o primeiro procedimento é torna-lo mais rigoroso, portanto mais confiável. O segundo é tornado menos robusto em um trecho (que lida com dinamicidade) todavia, é tornado mais confiável em outro (que trata de consistência). Resultados desse último procedimento demandam satisfação do último trecho mencionado. Por fim, o terceiro, por sua natureza (utiliza redes representantes de regiões de saúde e de macrorregiões de saúde, cujas comunidades são quase todas nós desconexos) é muito pouco afetado.

Os mesmos procedimentos, de início, são efetuados separadamente uns dos outros. Posteriormente são integrados, o que implica que apenas os elementos (correntes) validadas por um procedimento (isto é, que satisfazem as demandas do último) partem dele para outro. Os

procedimentos integrados são executados em todas as ordens possíveis. Um exemplo de ordem é: 6.8.2.3; 6.2.8.1 e 6.2.8.2.

Por fim, os resultados obtidos dos três procedimentos executados de maneira integrada são interpretados como um todo. Isso é combinado com a averiguação de compatibilidade entre o paradigma da SPPIM e o PVMH. Essa combinação possibilita o alcance do objetivo geral.

6.2.8 Indícios de propriedades de emergentes na SIUSP

6.2.8.1 Partes interagentes

Para que existam emergentes, as partes devem interagir (WOLF; HOLVOET, 2005; GOLDSTEIN, 1999). Assim, a estrutura de emergentes se relaciona com a estrutura de interações entre os componentes. Logo, ao serem buscados indícios de que as partes interagem na SIUSP (e que isso se relaciona com os padrões vistos em nível de emergentes nela), é útil averiguar a existência de satisfatória relação (aqui quantificada por similaridade) entre correntes de RIUSVAAs e a RII.

Aprofundando, de acordo com os diversos exemplos expressos por Wilensky; Rand (2015), padrões de emergentes tendem a ser mais intensos de acordo com a intensidade e frequência de interações entre componentes do sistema. Por exemplo, as leis de escala de cidades são válidas ao considerar interações interpessoais que ocorrem com significativa frequência e não um coletivo muito esparsos de pessoas (WEST, 2017; BETTENCOURT et al., 2007). Em coerência, tipicamente é dito que emergentes são formados por interações entre as partes locais (e não globais) do sistema (WOLF; HOLVOET, 2005). Isso, somado ao fato de possíveis emergentes serem comunidades em redes, indica que a similaridade buscada entre RIUSVAA e a RII é determinada por comunidades⁷⁰.

Nesses termos, o meio de busca de similaridade (embasada em comunidades) neste procedimento empregado compara uma RIUSVAA com a RII. Cada comparação é efetuada isoladamente de todas as outras (o resultado numérico de uma comparação não afeta ou é afetada pelo resultado numérico de nenhuma outra). Ao final dos procedimentos, todas as RIUSVAAs são comparadas com a RII.

⁷⁰ A similaridade entre comunidades da estrutura interativa e do nível de emergentes (ambos da SIUSP) não implica que a estrutura interativa gera os padrões vislumbrados em nível de emergentes. A causalidade mencionada é mais tratada pela propriedade efeito micro-macro de emergentes (WOLF; HOLVOET, 2005), propriedade essa não formalmente avaliada pelo estudo, isso apesar da similaridade mencionada ser um possível indício de tal causalidade.

A identificação de similaridade de entre cada RIUSVAA e a RII, embasada em suas comunidades, engloba dois processos. O primeiro identifica comunidades que serão comparadas, garante que elas apresentem certa similaridade em tamanho e, tomado isso, sejam as mais similares entre si. O segundo quantifica a similaridade aqui buscada.

Para que o primeiro seja alcançado, são identificadas comunidades na RII e nas RIUSVAAs. Isso é efetuado, em ambos os casos, com emprego de método baseado em otimização de modularidade descrito por Blondel et al. (2008)⁷¹.

Posteriormente, é iniciado o primeiro processo de identificação de similaridade de entre cada RIUSVAA e a RII. Ele inicialmente seleciona a maior comunidade (comunidade que mais apresenta nós), isso em uma comparação entre a RII e uma RIUSVAA (a inicial detecção da maior comunidade não gera significativas impactos nos resultados, sua maior utilidade é ordenar os procedimentos). A rede detentora dessa comunidade é chamada de rede A. Em sequência, na rede distinta à detentora da maior comunidade (rede B), são selecionadas comunidades cujo tamanho apresente certa similaridade perante a maior comunidade da rede A. Essas comunidades da rede B devem apresentar $cmx > N > x/cm$, onde x é a quantidade de nós que compõem a comunidade selecionada da rede A; N é a quantidade de nós que compõem cada comunidade da rede B e cm é a constante de nível meso (tomado o critério de maioria absoluta, o valor dessa constante é 2).

Dentre as comunidades selecionadas da rede B, é identificada a que apresenta maior quantidade de nós em comum com a comunidade selecionada de A. Caso duas ou mais comunidades apresentem a mesma quantidade de nós em comum, uma é selecionada aleatoriamente. Essa última comunidade e a comunidade selecionada da rede A são chamadas de comunidades correspondentes.

Posteriormente, ao ser selecionada a segunda maior comunidade, novamente ao considerar as duas redes, o mesmo procedimento descrito, que identifica comunidades correspondentes, é efetuado. Isso é realizado sem considerar as comunidades correspondentes já identificadas. Esse processo repete-se até que tenham sido identificadas todas as possíveis comunidades correspondentes entre as duas redes comparadas. Assim é finalizado o primeiro processo, em sequência, é iniciado o segundo.

É identificada a quantidade total de elementos urbanos que está situada em comunidades correspondentes, ao considerar todas essas últimas. Esse número é dividido pelo número total

⁷¹Todas as detecções de comunidades desta pesquisa são efetuadas pelo método descrito por Blondel et al. (2008).

de nós de uma dessas redes, que resulta na Similaridade entre Redes fundamentada em Comunidades, *SRC*. Esse método é embasado no índice de similaridade de Jaccard (REAL, 1999).

RIUSVAAs que apresentam $SRC > 0,5$ (maioria absoluta) são consideradas satisfatoriamente similares à RII (tomadas as comunidades dessas redes). Correntes de redes que apresentam maioria absoluta de suas redes (quatro se forem sete, por exemplo) que são satisfatoriamente similares à RII são consideradas satisfatoriamente similares em relação à última. Assim, apenas essas últimas correntes são validadas por esse procedimento.

6.2.8.2 Consistência e dinamicidade

Emergentes também apresentam consistência, que é a demonstração de um senso de identidade com o passar do tempo (WOLF; HOLVOET, 2005). Entretanto, conforme sistemas evoluem no tempo, emergentes ascendem. Os últimos são um novo tipo de comportamento. Assim, alterações em padrões não necessariamente indicam que os últimos não possuem consistência, mas sim podem expressar alterações de comportamento de um sistema que apresenta emergência (WOLF; HOLVOET, 2005).

Desse modo, a estabilidade pode ser interpretada, simultaneamente, como propriedade vinculada a emergentes (consistência) ou desconexa desses últimos (ausência de dinamicidade). O mesmo é válido para alterações visíveis em conjuntos de componentes, que podem atrelar-se a emergentes (dinamicidade) ou não (ausência de consistência).

Para lidar com isso, tomado o conceito de dinamicidade para emergentes, a categorização de estabilidade (ou instabilidade) como vinculada ou não à emergência deve considerar acontecimentos atrelados à evolução do sistema. Assim, são tomados possíveis acontecimentos atrelados à evolução do sistema. Esses são referentes à TCRPB e à consolidação regionalização do SUS.

Apesar de essas serem suposições razoáveis, os efeitos desses acontecimentos nas RIUSVAAs são desconhecidos. Assim, além de considerar acontecimentos atrelados à evolução do sistema, são considerados comportamentos de fato manifestos nas redes para a classificação de consistência ou dinamicidade. Ou seja, comportamentos devem ser acompanhados por plausíveis explicações.

Entretanto, não é conhecido se uma corrente é sensível aos acontecimentos mencionados. Logo, isso deve ser identificado para que a dinamicidade seja constatada com maior confiabilidade.

Tal identificação é efetuada, inicialmente, pela seleção de período marcado por alterações significativas em um acontecimento, desde que tal período demonstre máxima proximidade temporal com outro, caracterizado por significativa estabilidade no mesmo acontecimento. Um exemplo é composto pelos períodos 2004-2003 e o 2005-2004 (máxima proximidade temporal), sendo que o primeiro é marcado por alteração de 5,3% da TCRPB (significativa alteração, superior à média de alterações anuais do período de 2003 - 2010), enquanto o período 2005 - 2004 apresenta 2,8%, de variação da TCRPB (significativa estabilidade, inferior à média de alterações).

Caso, na maioria absoluta de comparações entre RIUSVAAs correspondentes a períodos que demonstram as propriedades descritas, determinada corrente apresente significativa instabilidade, a corrente é considerada sensível ao acontecimento subjacente; caso contrário, é considerada insensível. Esse teste é executado para todas as correntes. Correntes sensíveis aos acontecimentos são interpretadas de acordo com o quadro 9.

Quadro 9 – Interpretação estabilidade e instabilidade em correntes

	<i>Inexistência de alterações significativas nos acontecimentos</i>	<i>Existência de alterações significativas nos acontecimentos</i>
<i>Significativa estabilidade</i>	Consistência	Carência de dinamicidade
<i>Significativa instabilidade</i>	Inconsistência	Dinamicidade

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tomada a importância da regionalização e o vínculo entre condições sociais e econômicas com a saúde (SPAGNUOLO; GUERRINI, 2005; BAPTISTA, 2007), é demandado que correntes sejam sensíveis a ambos os acontecimentos. As correntes que não satisfazem isso podem ainda ser vinculadas a emergentes, uma vez que o esquema construído sustenta-se em suposição, e não em certeza de acontecimentos que impactam correntes. Entretanto, por segurança, aquelas correntes são eliminadas. Assim, possivelmente são eliminadas correntes que se vinculam a emergência, isso com o intuito de que todas as correntes aceitas demonstrem significativas propriedades atreladas à emergência.

6.2.8.2.1 Execução de análise de consistência e dinamicidade

A consistência e dinamicidade também podem ser investigadas por análise de comunidades, mais especificamente, pela análise da estabilidade delas. Isso é efetuado ao comparar apenas RIUSVAAs de uma mesma corrente de redes. Como mencionado, as

RIUSVAAs comparadas devem apresentar máxima proximidade temporal. Por exemplo, a rede do período de 2004-2003 da variável v é comparada apenas com a rede do período 2004-2005 da variável v , que, por sua vez, também é comparada com a rede do período 2006-2005 da variável v , assim sucessivamente.

Nesses termos, do mesmo modo já efetuado, é calculada a *SRC*. Comparações que demonstrarem $SRC > 0,5$ são consideradas detentoras de significativa estabilidade. Comparações que gerarem $SRC < 0,5$ são caracterizadas por significativa instabilidade.

Pela TCRPB, significativa instabilidade é interpretada como dinamicidade nas comparações entre 2004-2003 com 2005-2004 e entre 2008-2007 com 2009-2008. Pela consolidação da regionalização, significativa instabilidade é interpretada como dinamicidade nas comparações entre 2005-2004 com 2006-2005 e entre 2007-2006 com 2008-2007.

São contadas quantas vezes cada comparação entre redes de uma corrente de redes apresenta consistência e dinamicidade. São validadas por esse procedimento apenas as correntes de redes que apresentam dinamicidade e consistência para a maioria absoluta de suas redes, contanto que exista consistência e dinamicidade. Por exemplo, caso uma corrente possua sete redes, das seis comparações possíveis entre suas redes, ao menos quatro devem representar consistência ou dinamicidade, sendo que é necessário que exista ao menos um resultado de comparação que represente consistência e um que represente dinamicidade.

6.2.8.3 Novidade radical

Em emergentes, os componentes no nível micro não possuem representação explícita do comportamento global (WOLF; HOLVOET, 2005). Para averiguar se a SIUSP satisfaz isso, deve ser identificada explícita tentativa de representar o comportamento global.

Essa tentativa é considerada a estruturação de regiões de saúde e macrorregiões de saúde, uma vez que esses arranjos visavam, nos períodos a que os dados aqui empregados se referem, que seus componentes apresentassem lógicas internas (BRASIL, 2006). Ou seja, ao considerar regiões de saúde e macrorregiões de saúde como o global, era visado que o último demonstrasse certa lógica interna (descrita por seus componentes, que são cidades). Logo, por meio da comparação desses arranjos com os das correntes, é possível averiguar a existência de novidade radical, isto é, se importantes tácitos padrões interurbanos referentes à saúde (representadas pelas RIUSVAAs) diferem de maneira significativa e com persistência temporal perante a ordem instituída (regiões de saúde e macrorregiões de saúde).

Tal comparação é iniciada pela representação de regiões de saúde como comunidades de uma rede intermunicipal. O mesmo é feito para macrorregiões de saúde. Ambas as estruturas (regiões de saúde e macrorregiões de saúde) são sempre consideradas separadas.

Quais cidades compõem cada região de saúde e cada macrorregião, ambas de 2007, foi determinado por variável (que trata de todas as cidades do estado de São Paulo e referente ao ano de 2007), coletado no DATASUS, que expressa seus dados por região de saúde/município e por macrorregião de saúde/município. Há uma discrepância (pequena) entre o exposto na revisão de literatura e a quantidade de regiões de saúde obtidas: variáveis investigadas no DATASUS apresentam 63, ao invés de 64 regiões de saúde; isso para os anos de 2007, 2008 e 2009. Assim, a rede que representa regiões de saúde conta com 63 comunidades.

Após obtidas essas duas redes, para que elas sejam facilmente comparáveis com as correntes de redes, das primeiras são deletados todos os nós que não existem nas últimas. Nesses termos, redes que representam regiões e macrorregiões de saúde são comparadas com correntes por meio de *SRC*. Como é a partir de 2006 que existem 17 DRS no estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2015) e as 64 regiões de saúde foram estabelecidas em São Paulo no ano de 2007 (SÃO PAULO, 2015; SÃO PAULO, 2010?), para tratar de período que conta com a existência de regiões de saúde e de macrorregiões de saúde, das correntes foram consideradas apenas as redes que tratam de períodos a partir 2007.

Ao seguir essas diretrizes, para que seja assumida novidade radical de uma RIUSVAA, deve ser obtido $SRC < 0,5$ na comparação dela com a rede que retrata regiões de saúde e com a rede que representa macrorregiões de saúde. Para que seja assumida novidade radical de uma corrente de redes, a maioria absoluta de suas RIUSVAAs deve ser caracterizada como representantes de novidade radical. Apenas essas correntes são validadas por esse procedimento

6.2.8.4 O todo

6.2.8.4.1 Correntes detentoras de significativos indícios de que possuem emergentes

Neste ponto, é considerado o todo dos três procedimentos (6.2.8.1, 6.2.8.2 e 6.2.8.3) descritos. São quatro propriedades de emergentes avaliadas por tais procedimentos. Além dessas, uma outra não demanda esforços para ser identificada na SIUSP. Ela é coerência: pelo simples fato da SIUSP apresentar agrupamentos (comunidades) de elementos urbanos, elas apresentam coerência.

Nesse cenário, não é possível afirmar com absoluta certeza se a SIUSP apresenta emergentes, uma vez que cinco propriedades de emergentes não são avaliadas. Entretanto, é possível avaliar se correntes demonstram significativos indícios que apresentam emergentes (por tais correntes apresentarem indícios de deterem propriedades de emergentes).

Correntes (representantes da SIUSP) são consideradas detentoras de significativos indícios de que possuem emergentes caso sejam validadas por 6.2.8.1, 6.2.8.2 e 6.2.8.3. Nesses critérios, correntes devem ser validadas em 5 (ao contabilizar coerência) das 5 propriedades avaliadas sobre emergentes. Caso as correntes que satisfaçam esses critérios sejam importantes (a importância é determinada pelo conteúdo da variável que as determinam), é corroborada a veracidade da conclusão do processo dedutivo expresso na figura 72.

6.2.8.4.2 Procedimento para alcance do objetivo geral

Em sequência, para que o objetivo geral seja alcançado, deve ser identificado se o PVMH demonstra coerência com o paradigma da SPPIM (sob a perspectiva de propriedades de sistemas complexos). Nesses termos, caso a compreensão da SPPIM (coletivo de cidades conexas no âmbito da saúde) se sustentasse em paradigma coerente com o PVMH, seria reconhecido que, no sistema circunscrito pela SPPIM, interações entre elementos urbanos e seu contexto (outros elementos urbanos) provavelmente geram significativos efeitos, especialmente os não-lineares. Ainda, seria reconhecido que tal sistema possivelmente é um sistema complexo. Essas propriedades implicam que o processo administrativo da SPPIM deve reconhecer a provável limitada capacidade de previsão e controle inerente ao elemento administrado.

Para identificar se a SPPIM reconhece as propriedades descritas, foram realizadas pesquisas no *Web of Science* que visam identificar artigos científicos que corroboram tal reconhecimento. As pesquisas foram mais abrangentes do que a SPPIM para facilitar a captação de resultados.

Inicialmente, ao considerar “or” e “tópico”, foram pesquisadas as frases: “*interactions between urban centers and its nonlinear effects health brazil*” e “*interaction between cities and its nonlinear effects unified health system brazil*”. Também por “tópico” e “or”, foram pesquisadas: “*unified health system brazil cities complex system*”; “*network of cities unified health system brazil complex system*” e “*graph of cities unified health system brazil complex system*”.

Posteriormente, outras frases foram pesquisadas nos mesmos parâmetros: *“network of cities is a complex system”*; *“graph of cities is a complex system”*; *“intermunicipal network is a complex system”* e *“intermunicipal graph is a complex system”*. Todavia, foram obtidos muitos resultados (mais de 1000). Para filtragem, ao considerar as mesmas frases, a pesquisa passou a considerar apenas o título em cada uma das frases.

Em sequência, as frases pesquisadas (por tópico e “or”) foram: *“effects in cities of interaction with another cities brazil unified health system”*; *“regionalization effects in cities brazil unified health system”*; *“emergence regionalization unified health system brazil”* e *“emergence cities interaction unified health system brazil”*. Nos mesmos parâmetros, foram pesquisadas as frases *“unified health system brazil urban complex system”*; *“urban network unified health system brazil complex system”* e *“urban graph unified health system brazil complex system”*.

Já sobre o processo administrativo da SPPIM, isso é identificado por meio de busca em documentos úteis para gerenciá-la. Assim, nos documentos Plano Estadual de Saúde (PES) (SÃO PAULO, 2008), PES (SÃO PAULO, 2015), Plano Nacional de Saúde (PNS) (BRASIL, 2009) e PNS (BRASIL, 2016), foram pesquisadas as palavras (e seus singulares): “efeitos”; “consequências”; “interações”; “não-lineares”; “não lineares”; “laços de realimentação”; “sistemas complexos”; “emergentes”; “teoria de redes”; “grafos”; “auto-organização”; “teoria da complexidade”; “ciências da complexidade”. Esses anos dos PNSs e PES foram selecionados pois assim é obtida informação referente ao atual período (2020) e ao que os dados da pesquisa aqui desenvolvida tratam (2003-2010).

Os resultados das pesquisas indicam se o vigente paradigma da SPPIM destoa do PVMH (tomadas propriedades de sistemas complexos). Caso não destoe, conclui-se que a resposta para o problema de pesquisa é “não”, o que garante o alcance do objetivo geral. Caso seja constada discrepância entre o PVMH e o vigente paradigma da SPPIM, outras etapas são efetuadas.

Nessas são considerados os resultados obtidos pela identificação de correntes detentoras de significativos indícios de que possuem emergentes. Caso essas correntes não sejam importantes ou não existam, novamente é concluído que a resposta do problema de pesquisa é “não”, o que assegura o alcance do objetivo geral.

Por fim, caso a realidade indique o contrário sobre as últimas correntes mencionadas, a resposta para o problema de pesquisa é “sim”. Isso implica o alcance do objetivo geral e a conclusão de que existem significativos indícios que corroboram que o vigente paradigma da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo Paradigma de Visão de Mundo Holística, alinhado à teoria da complexidade.

Tal conclusão é corroborada pelo meio (embasado na teoria da complexidade) que proporcionou análise das correntes. Isso pois um novo paradigma tende a levar vantagem, em batalhas paradigmáticas, ao possibilitar a resolução dos problemas que levaram o antigo à crise (KUHN, 1962). No caso, a crise é possivelmente instaurada pela indicação de que a SIUSP não se comporta de acordo com o esperado pelo paradigma vigente.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Rede de interações interurbanas

A RII apresenta 61 nós, 510 arestas, 4 comunidades e significativa (mas não muito alta) heterogeneidade de grau (sua distribuição de grau é apresentada na figura 74). Isso ao considerar as fusões (99 cidades foram fundidas em 8 ACPs) e exclusões de nós (493 cidades foram excluídas), descritas em 6.2.6. A RII é representada na figura 73⁷².

Figura 73 – Rede de interações interurbanas

Fonte: Elaborada pelos autores.

⁷²O tamanho dos nós de todas as redes elaboradas pelos autores é determinado pelo grau ponderado. A coloração das mesmas redes é determinada por comunidades, isto é, nós de uma mesma comunidade possuem a mesma cor.

Figura 74 – Distribuição de grau da RII

Fonte: Elaborada pelos autores.

7.2 Variáveis e regressões

Ao todo, 87 variáveis sofreram o processo de filtragem descrito em 6.2.4, todas do DATASUS. Ao final do processo de filtragem, restaram 16 variáveis.

Em sequência, foram efetuadas regressões⁷³, processo descrito em 6.2.5. No quadro 10, são demonstradas informações sobre as regressões, isso ao considerar todos os anos que sofreram regressões válidas de uma variável que gerou uma corrente válida (isto é, corrente embasada em resíduos). Essas últimas variáveis foram 16, assim, existem 16 correntes.

⁷³Para efetuar as regressões sem viés, uma vez que contam com transformação logarítmica, os “0”s foram excluídos. Assim, para o ano x e variável y , não é calculado resíduo para cidades que apresentem, no ano x e variável y , valor “0”.

Quadro 10 – Regressões

Variável	Inclinação da reta (média)	Inclinação da reta (desvio padrão)	R quadrado (média)	R quadrado (desvio padrão)
Mortalidade - São Paulo Óbitos p/Residênc por Município e Cor/raça [Branca]	0,948706392	0,007099327	0,966284619	0,007297632
Mortalidade - São Paulo Óbitos p/Ocorrênc por Município e Cor/raça Branca	0,976956894	0,007362019	0,911332067	0,008460262
Mortalidade - São Paulo Óbitos p/Ocorrênc por Município e Cor/raça Parda	1,086432424	0,026786225	0,769093625	0,020364809
Óbitos por causas evitáveis de 5 a 74 anos - São Paulo Óbitos p/Residênc por Município e Faixa Etária [20 a 29 anos]	1,024514377	0,027047758	0,932734831	0,008389436
Óbitos por causas evitáveis de 5 a 74 anos - São Paulo Óbitos p/Residênc por Município e Faixa Etária [30 a 39 anos]	0,985734184	0,015781123	0,954205653	0,01400487
Óbitos por causas evitáveis de 5 a 74 anos - São Paulo Óbitos p/Residênc por Município e Faixa Etária [40 a 49 anos]	0,968397474	0,012432769	0,973780529	0,007972888
Óbitos por causas evitáveis de 5 a 74 anos - São Paulo Óbitos p/Residênc por Município e Faixa Etária [50 a 59 anos]	0,969244806	0,011037731	0,982994274	0,001891686

(CONTINUA)

(CONTINUAÇÃO)

Mortalidade - São Paulo Óbitos p/Ocorrênc por Município e Estado civil [Casado]	0,991389447	0,014548696	0,906477754	0,006755293
Mortalidade - São Paulo Óbitos p/Ocorrênc por Município e Estado civil [Viúvo]	0,961386044	0,014516014	0,909801905	0,009625981
Imunizações - Doses Aplicadas - Brasil Doses aplicadas por Imunobiológicos segundo Município [Hepatite B (HB)]	1,014989605	0,017249605	0,964961361	0,015885748
Imunizações - Doses Aplicadas - Brasil Doses aplicadas por Imunobiológicos segundo Município [Influenza (INF)]	1,111188882	0,08740866	0,708782053	0,078172044
Imunizações - Doses Aplicadas - Brasil Doses aplicadas por Imunobiológicos segundo Município [Influenza (Campanha) (INF)]	0,935199456	0,007040658	0,978380655	0,003666283
Imunizações - Doses Aplicadas - Brasil Doses aplicadas por Imunobiológicos segundo Município	0,993757927	0,022735135	0,959730858	0,011546773
Imunizações - Doses Aplicadas - Brasil Doses aplicadas por Imunobiológicos segundo Município [Oral Poliomielite (VOP)]	1,002108756	0,009595962	0,985053969	0,00224487
Imunizações - Doses Aplicadas - Brasil Doses aplicadas por Imunobiológicos segundo Município [Oral Poliomielite 1ª etapa campanha (VOP)]	0,999548706	0,008433241	0,983546693	0,001866022
Imunizações - Doses Aplicadas - Brasil Doses aplicadas por Imunobiológicos segundo Município [Oral Poliomielite 2ª etapa campanha (VOP)]	0,994514243	0,009265988	0,979876355	0,004524797

Fonte: Elaborada pelos autores.

Todos os valores p das regressões são inferiores a 0,05 e, em grande maioria, tais valores são extremamente próximos de 0. Os baixos valores de desvio padrão indicam grande estabilidade temporal da inclinação da reta e do r^2 . Os valores obtidos das inclinações das retas

não são aqui interpretados, pois escapam do central intuito da pesquisa. Entretanto, é válido destacar que foram captadas muitas leis de escala superlineares e também sublineares (expressas na segunda coluna do quadro 10). Isso demonstra congruência com a percepção de que cidades escalam de maneira não linear em muitos aspectos (BETTENCOURT et al., 2007; WEST, 2017).

7.3 Os indícios de propriedades de emergentes na SIUSP

Esta seção trata dos três procedimentos (descritos em 6.2.8) que identificam, na SIUSP, indícios de que possuem propriedades de emergentes. Inicialmente, os procedimentos são efetuados separadamente um dos outros; posteriormente, de maneira integrada. A maneira integrada é realizada para todas as possíveis ordens dos procedimentos. O resultado obtido ao final de cada procedimento é apresentado e interpretado.

Em sequência, como um todo, os resultados (de 6.2.8.1, 6.2.8.2 e 6.2.8.3) são interpretados. Isso é combinado com a averiguação de coerência entre o paradigma da SPPIM e o PVMH. Tal combinação garante o alcance do objetivo geral.

7.3.1 Resultados dos procedimentos separados

A execução do procedimento descrito em 6.2.8.2 resultou em uma corrente validada. Ela é oriunda da variável “Mortalidade - São Paulo Óbitos p/Ocorrênc por Município e Estado civil [Viúvo]”.

As comunidades das redes dessa corrente demonstram dinamicidade, isso ao comparar um período que apresenta significativa alteração em um dos dois acontecimentos considerados (regionalização do SUS ou TCRPB) com outro período, caracterizado por significativa estabilidade no mesmo acontecimento. Sobre os acontecimentos, caso dois períodos (consecutivos) não satisfaçam o apresentado, as comunidades das redes comparadas tendem a demonstrar consistência (interpretada como estabilidade temporal). Assim, além das regularidades temporais dos IMAEs (BETTENCOURT et al., 2010) para essa corrente, é possível afirmar que comunidades (fundamentadas em variações de resíduos, congruentes às IMAEs) também demonstram significativa persistência temporal. Desse modo, são identificados padrões interurbanos não triviais capazes de identificar ordem em comunidades formadas por similaridades de variações anuais de elementos urbanos. Tais padrões podem fundamentar decisões sobre gerenciamento de elementos urbanos e regiões. É válido destacar

que os resultados obtidos (que indicam propriedades de emergentes) foram escassos, uma vez que apenas uma corrente foi validada pelo procedimento aqui discutido.

Em sequência, foi efetivado o procedimento expresso em 6.2.8.3. Ele validou todas as correntes. Essas descrevem dinâmicas interurbanas no âmbito da saúde (descritas pelas arestas de suas redes) que pouco podem ser explicadas pelo arranjo organizacional da SPPIM.

Aprofundando, nota-se que redes de regiões de saúde e de macrorregiões de saúde, especialmente após a fusão e exclusão de cidades, demonstram caráter altamente esparso. De maneira mais precisa, poucos de seus nós estão conectados, assim, essas redes possuem muitas comunidades de apenas um nó. Como rede de correntes possuem muito mais conexões do que a de regiões de saúde e a de macrorregiões de saúde, isso faz com que redes de correntes demonstrem poucas comunidades de um nó. Esse é o principal motivo para todas as correntes terem sido validadas pelo procedimento 6.2.8.3.

Pela natureza do último, os resultados obtidos eram esperados. Assim, esse procedimento funciona como uma abordagem formal para visualizar propriedade já prevista: regiões de saúde e macrorregiões de saúde podem ser percebidas como esparsas perante dinâmicas interurbanas no âmbito da saúde (representadas pelas arestas de redes de correntes). Isso estende a percepção de que, de 2006 até o início de 2010, existia fragmentação de ações e serviços de saúde (BRASIL, 2010, online) para a constatação da existência de fragmentação do arranjo organizacional da saúde perante dinâmicas interurbanas (que tratam de saúde).

Assim como essa interpretação, outras (sobre os resultados desse procedimento) operam em nível abstrato, cujas constatações não são tratadas como certezas, mas sim como sugestões de percepções. Nestes termos, observa-se que a desarmonia entre os padrões descritos pelas correntes validadas e a ordem da SPPIM pode ocorrer pela grande complexidade da SIUSP, complexidade essa que pode tornar impossível impor ordem a ela (WOLF; HOLVOET, 2005). Assim, as estruturas não são absolutamente planejadas (BAUER, 1999); existem importantes fatores que são propensos a escapar do controle de gestores.

Prosseguindo a análise, destaca-se que os dois procedimentos apresentados não se fundamentaram na RII e geraram resultados que corroboram a existência de indícios de propriedades de emergentes na SIUSP. Já o procedimento restante, descrito em 6.2.8.1, embasa-se na RII e não demonstrou indícios de propriedades de emergentes na SIUSP: nenhuma corrente ou variável foi validada por ele.

Isso pode ser explicado ao ser tomado o procedimento de identificação de leis de escala de cidades (que é um emergente). Bettencourt et al. (2007) e Bettencourt et al. (2010) consideram AEMs para efetuar tal identificação, que são elementos que demonstram

significativa coerência interna. Isto é, AEMs podem ser vistas, em rede interpessoal (ao considerar pessoas como as partes que compõem AEMs) que representa dinâmicas sociais, como comunidades cujas fronteiras são significativamente bem definidas.

Por isso, é efetuada breve análise visual das comunidades da RII (figura 73)⁷⁴. Nesta abordagem, nota-se que as fronteiras de comunidades da RII não são muito bem definidas (a comunidade verde é o melhor exemplo disso). Assim, ao tratar do procedimento 6.2.8.1, seguindo a lógica descrita para identificação de emergentes (no caso, leis de escala) em cidades, é compreensível que as comunidades da RII não sejam muito úteis para identificar emergentes em rede interurbana. Também, como são analisados elementos urbanos que, ao considerar a estrutura interativa, não são extremamente interligados, é compreensível que tal estrutura não afete muito esses elementos.

O fato de fronteiras de comunidades da RII tenderem a não ser bem definidas e o fato de os elementos urbanos analisados não serem extremamente interligados foram gerados, em grande parte, pela fusão de cidades em ACPs, uma vez que tais fusões transformam comunidades muito coerentes (e cidades extremamente interconectadas) em apenas um nó. Ainda, as exclusões de muitas cidades (que apresentam população total inferior a 50 mil habitantes) acarretou eliminação de nós (da RII) propensos a apresentarem significativas conexões com poucas cidades (vizinhas), o que demonstraria tendência a gerar comunidades cujas fronteiras são bem definidas. Esses argumentos são reforçados pela modularidade da RII ter caído quase pela metade (de 0,612 para 0,315) após fusões e exclusões de cidades. Nesse contexto, o significado dos resultados obtidos (isto é, ao tratar de implicações dos resultados obtidos sobre indícios de propriedades de emergentes) pelo procedimento expresso em 6.2.8.1 pode não retratar a realidade, mas sim ser oriundo, em grande parte, de alterações realizadas na RII e nos elementos urbanos.

Entretanto, as fusões e exclusões de cidades foram necessárias para mitigar, com confiabilidade, o poder de descrição de variáveis que possui a população total de elementos urbanos (BETTENCOURT et al., 2007; BETTENCOURT et al., 2010). Tal mitigação coopera significativamente para identificar padrões interurbanos que excedem propriedades internas aos elementos urbanos. Mais precisamente, o método empregado para realizar a mitigação de propriedades internas de cidades foi o já reconhecido que identifica leis de escala (e utiliza

⁷⁴A validade dessa análise se sustenta no fato de a figura 73 (assim como todas as redes elaboradas pelos autores desta dissertação) ter sua distribuição espacial arranjada pelo algoritmo *Force Atlas 2*, situado no *software Gephi*. Tal algoritmo permite a interpretação visual da estrutura da rede; transforma proximidades estruturais em visuais (JACOMY et al., 2014).

AEMs), pois o estudo aqui desenvolvido já apresenta significativa carga de perspectivas relativamente novas, assim, julgou-se útil embasar essas perspectivas em base já amplamente validada para garantir confiabilidade aos resultados.

Apesar da provável válida explicação para os resultados identificados em 6.2.8.1, para garantir completude à análise, tais resultados são interpretados sob a premissa de que representam a realidade. Nesses termos, os resultados desse procedimento são possíveis indícios de que interações entre as partes (elementos urbanos) pouco se relacionam com padrões vislumbrados em nível de emergentes (da SIUSP). Como a proximidade indica tendência à maior interatividade (LAMBIOTTE et al., 2008), esses resultados podem se alinhar e complementar o fato de a proximidade geográfica demonstrar baixa validade para descrever comparações entre IMAEs (BETTENCOURT et al., 2010).

7.3.2 Resultados dos procedimentos integrados

A seguir, os mesmos procedimentos são efetuados, só que agora de maneira integrada, isso em todas as possíveis ordens. Apenas correntes validadas em um procedimento podem ser testadas nos posteriores procedimentos.

A quantidade total de correntes validadas em dois procedimentos (que foram os descritos em 6.2.8.2 e 6.2.8.3) foi uma. A corrente validada pelos procedimentos 6.2.8.3 e 6.2.8.2 é ilustrada na figura 75. Essa corrente é a da variável “Mortalidade - São Paulo Óbitos p/Ocorrênc por Município e Estado civil [Viúvo]”.

Figura 75 – Corrente que demonstra consistência, dinamicidade e novidade radical

Macrorregiões de saúde.

Regiões de saúde.

Esta figura foi realizada ao multiplicar os pesos de arestas das redes componentes da corrente mencionada por 1000 e, posteriormente, efetuar arredondamento dos pesos (esse procedimento alterou, em média, menos de 5% da estrutura de comunidades). Acima são demonstradas apenas comunidades que apresentam dois ou mais nós. São demonstradas todas as comunidades com dois ou mais nós de cada rede. As sete primeiras redes são RIUSVAAs da corrente da variável mencionada. Essas redes são expressas, de cima para baixo, do período mais distante do atual (rede referente a 2004-2003, que é a rede 1) para o mais próximo (rede referente a 2010-2009, que é a rede 7). Comunidades (de redes da

corrente) que possuem cores muito similares são comunidades correspondentes. Por fim, para demonstrar como as comunidades das redes da corrente destoam das comunidades de macrorregiões de saúde e de regiões de saúde, as duas últimas são expressas na última linha da figura.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por fim, destaca-se que nenhuma corrente foi validada pelos três procedimentos (6.2.8.1; 6.2.8.2 e 6.2.8.3).

7.3.3 Resultado do objetivo geral

Inicialmente, é identificado se propriedades de sistemas complexos são esperadas pelo paradigma vigente da SPPIM, isto é, se esse paradigma demonstra congruência perante o PVMH. Para isso, o paradigma vigente da SPPIM foi identificado pelas pesquisas realizadas no *Web of Science*, descritas em 6.8.5.2.

Na primeira bateria de pesquisas, não foi identificado nenhum resultado. Na segunda, foram identificados seis resultados, nenhum indica que o paradigma vigente da SPPIM é similar ao PVMH. Na terceira bateria, nenhum resultado foi identificado. Na quarta, apenas um resultado foi encontrado; ele aborda a SPPIM sob as perspectivas do PVMH. Tal artigo é *“Tracking pregnant women displacements in Sao Paulo, Brazil: a complex systems approach to regionalization through the emergence of patterns”*, de Rigoli et al. (2019). Na quinta, foi identificado apenas um resultado; ele não aborda temas correlatos com a pesquisa. Na sexta e última bateria (efetuada em PNSs e PESSs), nenhum resultado foi identificado. Assim, pela grande escassez de resultados encontrados, conclui-se que o paradigma vigente da SPPIM pouco se relaciona com o PVMH.

Em sequência, é identificado se existem correntes (representantes da SIUSP) que apresentam significativos indícios de que possuem emergentes. Nenhuma corrente que trata de saúde foi aprovada simultaneamente em 6.2.8.1, 6.2.8.2 e 6.2.8.3, assim, considerados os critérios adotados pela pesquisa, não é possível afirmar que existem correntes que apresentam tais indícios significativos. Logo, a SIUSP não pode se enquadrar na definição de um sistema complexo (NEWMAN, 2011). Ao seguir a lógica expressa na figura 72, isso não fortalece a conclusão de que o paradigma da SPPIM, para compreender o sistema que circunscreve (descrito, ao menos em importantes partes, pela SIUSP), deve ser o PVMH, atrelado à teoria da complexidade.

Isso implica o fato de os resultados identificados sobre correntes de redes não serem muito incongruentes às expectativas do paradigma vigente da SPPIMB. Assim, não é possível

afirmar, com grande confiabilidade, que os resultados identificados tendem a marcar o início de um novo paradigma (BAUER, 1999). Desse modo, conclui-se que, com as informações identificadas, não é possível afirmar que existem indícios significativos que corroboram que o paradigma vigente da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo Paradigma de Visão de Mundo Holística, alinhado à teoria da complexidade. Isso se refere aos elementos urbanos que o estudo considerou e garante o alcance do objetivo geral.

Todavia, é válido ressaltar que, para a conclusão ser oposta à obtida, faltou ocorrer validação de corrente (representante da SIUSP) em apenas um procedimento (6.2.8.1). Essa não validação pode ter ocorrido por alterações na RII em elementos urbanos efetuadas pela pesquisa. Assim, na realidade, a SIUSP pode ser validada pelo procedimento faltante descrito. Logo, apesar de não ser possível categorizar a SIUSP como um sistema complexo e, consequentemente, afirmar que o vigente paradigma da SPPIM é propenso a necessitar de alteração, não é possível descartar, com significativa confiança, tal categorização e tendência à alteração paradigmática.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A saúde pública brasileira é arranjada em redes (BRASIL, 1988), possuindo as cidades como seus entes nucleares (FLEURY; OUVÉNEY, 2007) e componentes de regiões de saúde, importante estrutura da saúde pública brasileira cuja definição é similar à de redes (BRASIL, 2011, online). Esse arranjo, no estado de São Paulo, composto por conexões formais (que tratam estritamente de saúde e instituídas de maneira *top-down*) entre cidades é chamado de Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal (SPPIM).

Ainda, esse arranjo está inserido em outro, também em formato reticular, descrito, por exemplo, por fluxo de pessoas entre cidades. Esse último arranjo é capaz de descrever importantes propriedades socioeconômicas de áreas metropolitanas (compostas por cidades) (KHALI-MIAB et al., 2019), propriedades essas que se relacionam com saúde (BRASIL, 1988; BAPTISTA, 2007). Esse último arranjo possui tendência de demonstrar interações mais intensas e frequentes em comparação com o da SPPIM. Por fim, tal arranjo, combinado ao de seus possíveis efeitos no âmbito da saúde, é nomeado de Saúde em nível Interurbano no estado de São Paulo (SIUSP).

Foi constatada a similaridade da SIUSP com sistemas complexos, assim, por meio de analogia (PARRA FILHO; SANTOS, 2002), foi formulada a hipótese de que a SIUSP apresenta emergentes e, se isso fosse verídico, a SIUSP poderia ser categorizada como um sistema complexo (NEWMAN, 2011). Como foi concluído que o paradigma vigente da SPPIM não reconhece propriedades típicas de sistemas complexos, a SIUSP ser de fato um sistema complexo implicaria a possível origem de novo paradigma (válido para a SPPIM, uma vez que a SIUSP demonstra grande importância para a SPPIM) (BAUER, 1999).

Pela importância dessa possibilidade, foi investigado se a SIUSP poderia ser categorizada como um sistema complexo. Essa investigação buscou identificar indícios de propriedades de emergentes na SIUSP (representada por RIUSVAAs), propriedades essas descritas por Wolf e Holvoet (2005). O todo dos resultados obtidos testa a validade de premissa (em negrito) do processo dedutivo descrito na figura 72. A conclusão desse processo dedutivo foi confrontada com o paradigma vigente da SPPIM. Tal confronto resultou na conclusão de que não é possível afirmar, com base nos resultados obtidos, que existem indícios significativos que corroboram que o paradigma vigente da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo Paradigma de Visão de Mundo Holística, alinhado à teoria da complexidade.

Todavia, a SIUSP demonstrou indícios não triviais de propriedades de emergentes (expressos pelas correntes validadas nos procedimentos descritos em 6.2.8.2 e 6.2.8.3)⁷⁵. Ainda, o procedimento (descrito em 6.2.8.1) que não resultou em indícios significativos de propriedades de emergentes se embasa em elementos que foram alterados por técnicas. As últimas podem ter feito com que o significado dos resultados obtidos pelo último procedimento descrito não demonstre grande congruência com a realidade. Assim, não deve ser descartada a possibilidade de a SIUSP ser um sistema complexo. Logo, não deve ser descartada a possibilidade de existência de propensão de necessidade de alteração paradigmática da SPPIM.

8.1 Alcance dos objetivos

Quadro 11 – Objetivos da pesquisa

<i>Objetivos</i>	<i>Local de alcance</i>	<i>Utilidade</i>
Demonstrar diferenças entre o PVMH e o PCN	Seção 2	Coopera na compreensão do conceito de “paradigma”, do PVMH e da impossibilidade de coexistência de dois paradigmas incompatíveis.
Proporcionar base histórica e conceitual que possibilite a compreensão de perspectivas, teorias e técnicas vinculadas ao PVMH	Seção 2	Facilita e, em alguns casos, possibilita a compreensão de todo o texto. Proporciona base teórica empregada para analisar a SPPIM e a SIUSP. Coopera para que futuras pesquisas mitiguem a escassez de análises da SIUSP e da SPPIM fundamentadas no PVMH. Tomada sua estrutura, colabora para validação da tríade holística.
Fundamentado nessa base, descrever componentes (cidades) e meio da SPPIM (redes interurbanas), assim como modo de gestão útil para tratar do arranjo da SPPIM (gestão de redes)	Seções 3 e 4	Conecta a teoria da complexidade à SPPIM. De maneira mais precisa, compreende a gestão (de redes), o meio (redes urbanas) e componentes (cidades e elementos similares) da SIUSP sob as luzes da complexidade.
Explicar a saúde pública no Brasil sob a ótica da tríade holística	Seção 5	Aproxima, novamente, a SPPIM ao PVMH, isso por descrevê-la sob a ótica da tríade holística. Apresenta informações (referentes a características de conexões entre sistemas urbanos de acordo com fases da regionalização) que sustentam tomadas de decisão que impactam nos procedimentos descritos na seção 6.
Apurar se o PVMH destoa do paradigma vigente da SPPIM, isso sob a perspectiva de propriedades de sistemas complexos	Seção 7.3.3	Essa apuração é necessária para que seja alcançado o objetivo geral.

⁷⁵Como já mencionado, as correntes validadas pelo procedimento descrito em 6.2.8.2 foram escassas.

Com emprego de teorias e técnicas alinhadas com a teoria da complexidade, averiguar a existência de indícios de propriedades de emergentes na SIUSP	Seções 7.3.1 e 7.3.2	Testa a validade da premissa (em negrito) expressa na figura 72. Esse teste é necessário para que seja alcançado o objetivo geral.
Identificar se os resultados obtidos pela caça de indícios de propriedades de emergentes na SIUSP corroboram que a compreensão da SPPIM deve sofrer uma alteração paradigmática e sustentar-se no PVMH	Seção 7.3.3	Garante que os resultados obtidos não sejam apenas descritos e interpretados de maneira rasa. Busca implicações profundas, em nível paradigmático, daqueles resultados e garante o alcance do objetivo geral.

Fonte: Elaborada pelos autores.

8.2 Contribuições do estudo

- Organização de arcabouço teórico que coopera na difusão da teoria da complexidade em distintas áreas do saber, com ênfase para as relacionadas com gestão da saúde pública brasileira.
- Identificação de muitas leis de escala consistentes em muitas variáveis importantes para a saúde.
- Desenvolvimento de perspectiva e técnica que complementam a abordagem usualmente utilizada, fundamentada na teoria da complexidade, para analisar AEMs. A materialização desses desenvolvimentos são as correntes de RIUSVAAs, que tratam de dinâmicas relações interurbanas.
- Desenvolvimento de procedimentos que captam significativa quantidade de propriedades de emergentes em redes. O emprego de tais procedimentos demanda baixa informação prévia sobre o comportamento das redes analisadas.
- Averiguação da validade do vigente paradigma da SPPIM.
- Organiza perspectiva, técnica e arranjo teórico que coopera para a regionalização do SUS ser compreendida e avaliada com base no PVMH.
- Esclarece lacuna de análises sobre a SIUSP e a SPPIM perante arranjo de temas (tríade holística) que se demonstra bastante alinhada com a SPPIM. Organiza arcabouço teórico que possibilita mitigar, de maneira significativa, tal lacuna.
- Conclui que não existem indícios significativos que corroboram que o paradigma vigente da Saúde Pública Paulista em nível Intermunicipal deve ser substituído pelo Paradigma de Visão de Mundo Holística, alinhado à teoria da complexidade.

8.3 Limitações do estudo

- Mesmo que coletado um significativo número de variáveis, por muitas apresentarem vários dados faltantes, foram construídas poucas correntes.
- Os procedimentos que visam captar indícios de propriedades de emergentes em redes são novos. Para que seja depositada absoluta confiança neles, há tendência de que passem anos sofrendo análises e testes da academia.
- As redes das correntes podem não apresentar ótima granularidade temporal. Ainda, elas são embasadas em apenas similaridade de intensidade de variação, assim, desconsideram sentido. Ou seja, informação é perdida no processo de criação de correntes.
- Consequências de mitigações de propriedades internas de elementos urbanos (descritas pela população total que apresentam) provavelmente perturbaram, de maneira significativa, um procedimento que visava captar indícios de propriedades de emergentes na SIUSP.
- Não são consideradas, para o alcance do objetivo geral, cinco propriedades de emergentes. Ou seja, o estudo não abrange, formalmente, absolutamente todas as propriedades de emergentes. Logo, o objetivo geral não trata de provas, mas sim de indícios.

8.4 Sugestões para futuras pesquisas

- Analisar as leis de escala identificadas pelo estudo. Identificar como os resultados dessa análise podem cooperar para a melhoria da saúde paulista e, se possível, da saúde brasileira.
- Investigar propriedades de correntes de RIUSVAAs, isso especialmente ao tratar da variável validada pelo procedimento expresso em 6.2.8.2 (e variáveis correlatas a ela).
- Analisar correntes de acordo com distintas granularidades temporais.
- Sob a perspectiva da tríade holística, analisar a SPPIM e a SIUSP. Isso especialmente em áreas pouco estudadas e por meio de procedimentos pouco empregados. Sobre área, é destacada a escassez do reconhecimento da provável

previsibilidade frágil da SIUSP. Sobre procedimentos, são destacados os vinculados à teoria da complexidade para compreender cooperações intermunicipais (como o desenvolvimento de modelos baseados em agentes).

- Identificar procedimento que, ao mesmo tempo que mitigue propriedades internas de elementos urbanos, perturbe o mínimo possível as dinâmicas interativas entre tais elementos.

REFERÊNCIAS

- ACAR, M.; ROBERTSON, P. J. Accountability challenges in networks and partnerships: evidence from educational partnerships in United States. **International Review of Administrative Sciences**, [S.l.], n. 70, p. 331-334, 2004.
- AGRANOFF, R.; MCGUIRE, M. Big questions in public network management research. **Journal of Public Administration Research and Theory**, [S.l.], v. 11, p. 295-326, 2001.
- AGRANOFF, R.; MCGUIRE, M. Managing in Network Settings. **Policy Studies Review**, [S.l.], v. 16, p. 18-41, 1999.
- AIRAKSINEN, J.; HAVERI, A. Networks and Hierarchies in Inter-municipal Co-operation – Are Networks Really Light and Flexible and Hierarchies Sticky and Rigid? In: EUROPEAN GROUP OF PUBLIC ADMINISTRATION, Lisbon, 2003.
- AKOGLU, H. User's guide to correlation coefficients. **Turk J Emerg Med.**, [S.l.], v.18, n. 3, p. 91-93, 2018.
- ALBERT, R.; BARABÁSI, A.-L. Statistical mechanics of complex networks. **Reviews of Modern Physics**, [S.l.], v. 74, n. 1, p. 47-97, 2002.
- ALBUQUERQUE, M. V.; VIANA, A. L. Perspectivas de região e redes na política de saúde brasileira. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v. 39, n. especial, p. 28-38, dez. 2015.
- ALFRADIQUE, M. E.; MENDES, E.V. **As interações por condições sensíveis à atenção ambulatorial no SUS: nota prévia**. Belo Horizonte: MIMEO, 2002.
- ALLEN, P. M. **Cities and regions as self-organizing systems models of complexity**. London: Taylor & Francis, 2005.
- ALMEIDA, M. H. Federalismo, Democracia e Governo no Brasil: Ideias, Hipóteses e Evidências. **BIB**, São Paulo, n. 51, p. 13-34, 2001.
- ALTER, C.; HAGE, J. **Organizations Working Together**. Newbury Park, Calif.: SAGE, 1993.
- ANDRADE, M. V. Políticas estaduais na área de saúde. In: ANDRADE, M. V. **Minas Gerais do século XXI: investindo em políticas sociais**. Belo Horizonte: BDMG, 2002.
- AXELROD, R. **The Evolution of Cooperation**. New York: Basic Books, 1984.
- BACKSTROM, L. et al. Group formation in large social networks: membership, growth, and evolution. In: PROCEEDINGS OF THE 12TH ACM SIGKDD INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING (KDD '06). Association for Computing Machinery, New York, p. 44–54, 2006.
- BALBIM, R.; CONTEL, F. B. Região e regionalização: subsídios teóricos para o ordenamento territorial e o desenvolvimento brasileiro. In: INSTITUTO DE PESQUISA

ECONÔMICA APLICADA. Brasil em desenvolvimento 2013: estado, planejamento e políticas públicas. 1 v. Brasília, cap. 1, p. 25-48, 2013.

BAPTISTA, T. W. de F. História das Políticas de Saúde no Brasil: a trajetória do direito à saúde. In: MATTA, G. C. Políticas de Saúde: a organização e a operacionalização do Sistema Único de Saúde. **Coleção Educação Profissional e Docência em Saúde**: a formação e o trabalho do agente comunitário de saúde, Rio de Janeiro, n. 3, p. 29-60, 2007.

BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, [S.l.], v. 286, p. 509-512, 1999.

BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R.; JEONG, H. Mean-field theory for scale-free random networks. **Physica A**, [S.l.], v. 272, p.173-187, 1999.

BARABÁSI, A.-L. **Linked**: The New Science of Network. Cambridge: Perseus Publishing, 2002.

BARABÁSI, A.-L. **Network Science**: Personal Introduction. [S.l.]: Creative Commons: 2014.

BARABÁSI, A.-L. The origin of bursts and heavy tails in human dynamics. **Nature**, [S.l.], v. 435, p. 207-11, 2005.

BARBER, B. **The Logic and Limits of Trust**. New Brunswick: Rutgers University Press, 1983.

BARDACH, E. **Managerial Craftsmanship**: Getting Agencies to Work Together. Washington: Brookings, 1998.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de: Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 1977.

BARTHELEMY, M. et al. Self-organization versus top-down planning in the evolution of a city. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 3, 2153, 2013.

BATTY, M. **Cities and Complexity**: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals. Cambridge: MIT Press, 2005.

BATTY, M. **The New Science of Cities**. Cambridge: The MIT Press, 2013.

BAUER, R. **Gestão da Mudança**: Caos e Complexidade nas Organizações. São Paulo: Atlas, 1999.

BENNIS, W. **Desenvolvimento organizacional**: sua natureza, origens e perspectivas. São Paulo: Edgar Blücher, 1972.

BERARDO, R.; SCHOLZ, J. T. Self-Organizing Policy Networks: Risk, Partner Selection, and Cooperation in Estuaries. **American Journal of Political Science**, [S.l.], v. 54, n. 3, p. 632-649, 2010.

BERTALANFFY, L. V. An outline of general system theory. **The British Journal for the Philosophy of Science**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 134-165, 1950.

BERTALANFFY, L. V. **General System Theory**. Nova York: Braziller, XV, 1968.

BERTALANFFY, L. V. **General System Theory**. New York: G. Braziller, 1969.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2010.

BETTENCOURT, L. M. et al. **Growth, innovation, scaling and the pace of life in cities**. Bloomington: PNAS, 2007.

BETTENCOURT, L. M. Supplementary Materials for ‘The origins of Scaling in Cities’. **Science**, v. 340. 2013a. 32 p. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/sci/suppl/2013/06/19/340.6139.1438.DC1/Bettencourt.SM.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

BETTENCOURT, L. M. The origins of Scaling in Cities. **Science**, [S.l.], v. 340, p. 1438-1441, 2013b.

BETTENCOURT, L. M. et al. Urban Scaling and Its Deviations: Revealing the Structure of Wealth, Innovation and Crime across Cities. **PLoS ONE**, [S.l.], v. 5, n. 11, 2010.

BEZZI, M. L. **Região**: uma (re)visão historiográfica da gênese aos novos paradigmas. Santa Maria: Editora UFMS, 2004.

BHATTACHARYA, K. et al. The International Trade Network: weighted network analysis and modelling. **Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment**, [S.l.], v. 2008, n. 2, p. 02002, 2008.

BIANCONI, G.; BARABÁSI, A.-L. Bose-Einstein condensation in complex networks. **Physical Review Letter**, [S.l.], v. 86, p. 5632–5635, 2001.

BLONDEL, V. D. et al. Fast unfolding of communities in large networks. **Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment**, IOP Publishing Ltd and SISSA, 2008.

BOCCARA, N. **Modeling Complex Systems**. New York: Springer, 2004.

BOEHNERT, J. et al. The visual representation of complexity: Definitions examples & learning points. In: CECAN ANNUAL CONFERENCE, 2018, London. Policy Evaluation for a Complex World London: CECAN, 2018.

BOGUNÁ, M.; PASTOR-SATORRAS, R. Epidemic spreading in correlated complex networks. **Physical Review E**, [S.l.], v. 66, p. 047104, 2002.

BOHR, N. **Atomic Physics and the Description of Nature**. Cambridge: Cambridge University Press, 1934.

BÖRZEL, T. A. Organizing Babylon. – on the different conceptions of policy networks. **Public Administration**, [S.l.], v. 76, n. 2, p. 255-273, 1998.

BILLINGS, J.; ANDERSON, G.; NEWMAN, L. Recent findings on preventable hospitalizations. **Health Affairs**, [S.l.], v. 15, p. 239-249, 1996.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 29 mar. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 7.508, de 28 de junho de 2011**. Dispõe sobre a organização do Sistema Único de Saúde - SUS, o planejamento da saúde, a assistência à saúde e a articulação interfederativa, e dá outras providências. 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7508.htm . Acesso em: 17 mar. 2019.

BRASIL. **Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990**. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes, e dá outras providências. 1990a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8080.htm. Acesso em: 17 mar. 2019.

BRASIL. **Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990**. Dispõe sobre a participação da comunidade na gestão do Sistema Único de Saúde (SUS) e sobre as transferências intergovernamentais de recursos financeiros na área da saúde e dá outras providências. 1990b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8142.htm. Acesso em: 17 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **O SUS**. [2008?]. Disponível em: http://conselho.saude.gov.br/web_sus20anos/sus.html?fbclid=IwAR3SqD8a9W8ZHFkWEG5KkLKEFAkYu8-QACWzycmGlymiGAD9eYCGb42JDro. Acesso em: 11 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ. Pense SUS, a reflexão fortalece essa conquista. **Universalidade**. [2013?]. Disponível em: <https://pensesus.fiocruz.br/universalidade>. Acesso em: 12 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano Nacional de Saúde**. PNS 2016-2019. Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: http://bibliotecadigital.seplan.planejamento.gov.br/bitstream/handle/123456789/1048/planonacionaisaude_2016_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da saúde. **Portaria nº 399, de 22 de fevereiro de 2006**. Divulga o Pacto pela Saúde 2006 – Consolidação do SUS e aprova as diretrizes Operacionais do Referido Pacto. 2006a. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2006/prt0399_22_02_2006.html. Acesso em: 30 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da saúde. **Portaria nº 4.279, de 30 de dezembro de 2010.** Estabelece diretrizes para a organização da Rede de Atenção à Saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS). 2010. Disponível em: http://conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2011/img/07_jan_portaria4279_301210.pdf. Acesso em: 15 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Princípio do SUS.** [2017]. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/sistema-unico-de-saude/principios-do-sus>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Departamento de Apoio à Descentralização. **Regionalização solidária e cooperativa:** orientações para implementação no SUS. Brasília, v. 3, 2006. 2006b. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/regionalizacao2006.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Subsecretaria de Planejamento e Orçamento. **Plano Nacional de Saúde.** PNS 2008/2009-2011. Brasília: Secretaria-Executiva, 2009. Disponível em: https://www.mpma.mp.br/arquivos/COCOM/arquivos/centros_de_apoio/cao_saude/publicacoes/pns2008_2011_preimpressao.pdf. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRESSER-PEREIRA, L. C. **A construção política do Brasil:** Sociedade, Economia e Estado Desde a Independência. São Paulo: Editora 34, 2014.

BROCKMANN, D.; HELBING, D. The Hidden Geometry of Complex, Network-Diven Contagion Phenomena. **Science**, [S.l.], n. 342, p. 1337-1342, 2013.

BROCKMANN, D.; HUFNAGEL, L.; GEISEL, T. The scaling laws of human travel. **Nature**, [S.l.], v. 439, p. 462-465, 2006.

BRUIJN, H. de; HEUVELHOF, E. F. **Management in Networks.** 2. ed. London: Routledge, 2018.

BRUIJN, H. de; HEUVELHOF, E. F.; VELD, R. J. **Process management:** Why project management fails in complex decision making processes. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2010.

BURNS, T.; STALKER, G. M. **The management of innovation.** London: Tavistock Publications, 1961.

BURT, R. **Structural Holes:** The Social Structure of Competition. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1992.

CAMAGNI, R.; GIBELLI, M. C.; RIGAMONTI, P. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. **Ecological Economics**, [S.l.], v. 40, n. 2, p. 199–216, 2002.

CAPRA, F. **As conexões ocultas.** São Paulo: Cultrix, 2002.

CAPRA, F. **A Teia da Vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. 10. ed. São Paulo: Cultrix; 2006.

CAPRA, F.; LUISI, P. L. **A visão sistêmica da vida**: uma visão unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas. São Paulo: Cultrix, 2014.

CAPRA, F. **The turning point**: Science, society, and the rising culture. New York: Bantam Books, 1983.

CARAVANTES, G. R.; PANNO, C. C.; KLOECKNER, M. C. **Administração**: teorias e processos. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CASANOVA, P. G. **As novas ciências e as humanidades**: da academia à política. Tradução de BENEDITO, M. São Paulo: Boitempo, 2006.

CASTELLS, M. The rise of the network society: The information age: Economy, society, and culture. **Hoboken**, John Wiley & Sons, v. 1, 2011.

CASTRO, E.R. de; GOMES, P.C. da C.; CORRÊA, R.L. **Geografia**: conceitos e temas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 9. ed. Barueri: Editora Manole Ltda, 2014.

CIGLER, B. A. Pre-Conditions for the emergence of multicomunity collaborative organizations. **Policy Studies Review**, [S.l.], v. 16, n. 1, p. 86-102, 1999.

CLARKE, M.; STEWART, J. **Handling the Wicked Issues**: A Challenge for Government. Birmingham: University of Birmingham, Institute of Local Government Studies, 1997.

CLATTERBAUGH, K. C. Descartes's causal likeness principle. **The Philosophical Review**, [S.l.], v. 89, n. 3, p. 379-402, 1980.

COLEMAN, J. S. Social Capital in the Creation of Human Capital. **The American Journal of Sociology**, [S.l.], v. 94, p. S95-S120, 1988.

COMPEAU, P. E.; PEVZNER, P. A.; TESLER, G. How to apply de Bruijn graphs to genome assembly. **Nature Biotechnology**, [S.l.], v. 29, n. 11, p. 987-991, 2011.

DEFINITION of Complex. Dictionary.com. 2020. Disponível em: <https://www.dictionary.com>. Acesso em: 12 mar. 2020.

CONTEL, F. B. Os conceitos de região e regionalização: aspectos de sua evolução e possíveis usos para a regionalização da saúde. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 447-460, 2015.

CORRÊA, R. L. Identificação dos centros de gestão do território no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, v. 57, n. 1, p. 83-102, jan./mar.1995.

CORRÊA, R.L. **Região e organização espacial**. São Paulo: Ática, 1986.

COSTA; F. R. da; ROCHA, M. M. Geografia: conceitos e paradigmas – apontamentos preliminares. **Revista GEOMAE**, Campo Mourão, v. 1, n. 2, p. 25-56, 2010.

CREMA, R. **Introdução à visão holística**: breve relato de viagem do velho ao novo paradigma. 3. ed. São Paulo: Summus, 1989.

CRUTCHFIELD, J. **Is anything ever new?** Considering emergence. Working Paper 94-03-011, Santa Fe Institute, 1994.

DATASUS. Ministério da Saúde. **TabNet**. Portal da Saúde SUS. Informações de Saúde. [s.d.]. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>. Acesso em: 12 mar. 2019.

DESCARTES, R. **O discurso do método**. Tradução de: Enrico Corvisieri. [S.l.]: Edição Acrópolis, 2013.

DOROGOVTSSEV, S. N.; GOLTSEV, A. V.; MENDES, J. F. Pseudofractal Scale-free Web. **Physical Review E**, [S.l.], v. 65, p. 066122, 2002.

DOROGOVTSSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. **Evolution of Networks**: From Biological Nets to the Internet and WWW. Oxford: Oxford University Press, 2003.

DOURADO, D. A.; ELIAS, P. E. M. Regionalização e dinâmica política do federalismo sanitário brasileiro. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 204-211, 2011.

DUARTE, L. S.; CONTEL, F. B.; BALBIM, R. Regionalização da saúde e ordenamento territorial: análises exploratórias de convergências. In: INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Brasil em desenvolvimento 2013: estado, planejamento e políticas públicas. 1 v. Brasília, cap. 5, p. 147-172, 2013.

DUARTE, L. S. et al. **Regionalização da saúde no Brasil**: uma perspectiva de análise. Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 472-485, 2015.

EGUILUZ, V. M.; KLEMM, K. Epidemic threshold in structured scale-free networks. **Physical Review Letter**, [S.l.], v. 89, p. 108701, 2002.

EPSTEIN, J. M. Why Model? **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, [S.l.], v. 11, n. 412, 2008.

ERDMANN, A. L. et al. As organizações de saúde na perspectiva da complexidade dos sistemas de cuidado. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, v. 57, n. 4, p. 467-471, 2004.

ERLANDER, S.; STEWART, N. F. **The Gravity Model in Transportation Analysis**: Theory and Extensions. Utrecht: Brill Academic Publishers, 1990.

ESCOREL, S.; TEIXEIRA, L. A. História das políticas de saúde no Brasil de 1822 a 1963: do Império ao desenvolvimentismo populista. In: GIOVANELLA, L. et al. **Políticas e sistemas de saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: Fiocruz, p. 333-384, 2008.

FAUSTO, B. **História do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fundação do Desenvolvimento da Educação, 1995.

FELDMAN, D. P. **Chaos and Fractals: An Elementary Introduction**. Oxford: University Press, 2012.

FERREIRA, M. P. **Assistência à Saúde nos Departamentos Regionais de Saúde: um exercício metodológico sobre eficiência e acesso aos serviços de saúde**. 2009. 150 f. Tese (Doutorado em Medicina) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FLEURY, S.; OUVÉNEY, A. M. **Gestão de redes: a estratégia de regionalização da política de saúde**. Rio de Janeiro: FGV, 2007.

FONSECA, C. M. **Saúde no Governo Vargas (1930-1945): dualidade institucional de um bem público**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2007.

FORTUNATO, S.; BARTHÉLEMY, M. Resolution limit in community detection. **PNAS**, Princeton, v. 104, n. 1, p. 36-41, 2007.

FOUKIA, N., HASSAS, S.: Towards self-organizing computer networks: A complex system perspective. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENGINEERING SELFORGANIZING APPLICATIONS 2003, Melbourne, 2003.

FOX, W. **Toward a transpersonal ecology**. Shambhala: Boston, 1990.

FREEMAN, L. C. A set of measures of centrality based upon betweenness. **Sociometry**, [S.l.], v. 40, p. 35-41, 1977.

GAUKROGER, S. Descartes Methodology. In: R. PARKINSON, G. H. (ed.). **The renaissance and seventeenth-century rationalism**. London: Routledge, 2005.

GETIS, A.; GETIS, J. Christaller's Central Place Theory. **The Journal of Geography**, [S.l.], v. 65, n. 5, p. 220-226, 1966.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GINTIS, H. **Game theory evolving**. Princeton University: Princeton, 2000.

GOH, K.-I.; KAHNG, A. B.; KIM, D. Universal Behavior of Load Distribution in Scale-Free Networks. **Physical Review Letters**, [S.l.], v. 87, n. 27, p. 278701, 2001.

GOLDSTEIN, J. Emergence as a construct: History and issues. **Emergence**, [S.l.], v. 1, p. 49-72, 1999.

GOLTSEV, A. V.; DOROGOVTSSEV, S. N.; MENDES, J. F. Percolation on correlated networks. **Physical Review E**, [S.l.], v. 78, n. 5, p. 051105, 2008.

- GOMES, P.C. da C.O conceito de região e sua discussão.1995. In: CASTRO, I.E. de; GOMES, P.C. da C.; CORRÊA, R.L. **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.39-78, 1995.
- GRANOVETTER, M. The Strength of Weak Ties. **American Journal of Sociology**, [S.l.], v. 78, p. 1360–1380, 1973.
- GRANOVETTER, M. Threshold Models of Collective Behavior. **The American Journal of Sociology**, [S.l.], v. 83, n. 6, p. 1420-1443, 1978.
- GRAY, B. **Collaborating: Finding Common Ground for Multiparty Problems**. San Francisco: Jossey-Bass, 1989.
- GRIGG, D. Regiões.Modelos e classes. In: CHORLEY, R.; HAGGETT, P. **Modelos integrados em geografia**. São Paulo: Edusp, p. 23-66, 1974.
- GUIMERA, R.; SALES-PARDO, M.; AMARAL, L. Modularity from fluctuations in random graphs and complex networks. **Physical Review E**, [S.l.], v. 70, n. 2, p. 025101, 2004.
- HAIR JÚNIOR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HAKEN, H. **Information and Self-Organisation: A Macroscopic Approach to Complex Systems**. Springer Verlag: Germany, 1998.
- HARMON, M. M.; MAYER, R. T. **Organization Theory for Public Administration**. Glenview, III: Scott, Foresman & Co, 1986.
- HAWKING, S. W. **Uma breve história do tempo: do Big Bang aos buracos negros**. Tradução de: Ribeiro da Fonseca. Lisboa: Gradiva, 2004.
- HAYTHORNTHWAITE, C. Social networks and Internet connectivity effects. **Information, Communication & Society**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 125–147, 2005.
- HEINSEBERG, W. **Physics and Philosophy**. Nova York: Harper Torchbooks, 1958.
- HEYLIGEN, F. The science of self-organisation and adaptivity. **The Encyclopedia of Life Support Systems**, UNESCO Publishing-Eolss Publishers, [S.l.], 2002.
- HOBBS, T. **Leviathan**. New York: Collier Books edition, 1962.
- HOCHMAN, G. **A era do saneamento: as bases da política de saúde pública no Brasil**. Rio de Janeiro: Hucitec/ANPOCS, 1998.
- HOHENBERG, P. M.; LEES, L. H. **The Making of Urban Europe, 1000–1950**. Cambridge: Harvard University Press, 1985.
- HOLLAND, J. H. **Emergence: from Chaos to Order**. Redwood City: Addison-Wesley, 1998.

HOLLAND, J. H. Studying complex adaptive systems. **Journal of Systems Science and Complexity**, [S.l.], v. 19, p. 1-8, 2006.

INNES, J. E.; BOOHER, D. E. Consensus Building and Complex Adaptive Systems: A Framework for Evaluating Collaborative Planning. **Journal of the American Planning Association**, [S.l.], v. 65, p. 412-423, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Agência IBGE Notícias. IBGE apresenta nova área territorial brasileira: 8.515.767,049 km². 2012. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14318-asi-ibge-apresenta-nova-area-territorial-brasileira-8515767049-km>. Acesso em: 30 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. População do Brasil. [2020]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 24 abr. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Regiões de Influência das Cidades 2007. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Regiões de Influência das Cidades (REGIC). [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15798-regioes-de-influencia-das-cidades.html?edicao=16168&t=downloads>. Acesso em: 30 mar. 2020

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Redes e fluxos do território: Gestão do Território 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA) DATA. Dados macroeconômico, regional e social. [s.d.]. Disponível em: http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx?fbclid=IwAR0kN5zbrXrOYZ4nFG7RhIHpAeNCpXZtI3eBEcPNxV_X_BFtMjqY2BTx8oQ. Acesso em: 20 mar. 2019.

JACOMY, M. et al. **ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software**. PLoS ONE, [S.l.], v. 9, n. 6, 2014.

JAIN, S.; KRISHNA, S. A model for the emergence of cooperation, interdependence, and structure in evolving networks. **PNAS**, Princeton, v. 98, n. 2, p. 543-547, 2001.

JOHNSON, R. A.; BHATTACHARYYA, G. K. **Statistics: Principles and Methods**. 6. ed. [New Jersey]: Wiley, 2010.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**, 6. ed. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 2007.

JUNG, W-S.; WANG, F.; STANLEY, H. E. Gravity model in the Korean highway. **Europhysics Letters**, [S.l.], v. 81, n. 4, p. 48005, 2008.

KAUFFMAN, S. **The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution**. USA: Oxford University Press, 1993.

KAYSER, B. A região como objeto de estudo da geografia. In: GEORGE, P. et al. **A Geografia ativa**. São Paulo: Difel, p. 279-321, 1980.

KAYSER, B. Les divisions de l'espace géographique dans les pays sous-développés. **Annales de Géographie**, Paris, v. 75, n. 412, p. 686-697, 1966.

KERR, B. et al. Local dispersal promotes biodiversity in a real-life game of rock–paper–scissors. **Nature**, [S.l.], v. 418, p. 171-174, 2002.

KETTL, D. F. Governing at the Millennium. In: JAMES, L. P. **Handbook of Public Administration**. 2. ed. San Francisco: Jossey-Bass, 1996.

KHIALI-MIAB, A. et al. Combining urban scaling and polycentricity to explain socio-economic status of urban regions. **PLOS ONE**, [S.l.], v. 14, n. 6, p. 1-23, 2019.

KICKERT, W. J.; KOPPENJAN, J. F. Public Management and Network Management: An Overview. In: KICKERT, W. J. M.; KLIJN, E. H.; KOPPENJAN, J. F. M. **Managing complex networks**. London: SAGE, 1997.

KINGDON, J. W. **Longman Classics in Political Science**: Vol. 45. Agendas, alternatives, and public policies. Boston: Little, Brown, 1984.

KLERING, L. R.; PORSE, M. C. S. Em direção a uma administração pública brasileira contemporânea com enfoque sistêmico. **Desenvolvimento em Questão**, [S.l.], v. 12, n. 25, p. 41-80, 2014.

KLERING, L. R.; PORSE, M. C. S.; GUADAGNIN, L. A. Novos caminhos da administração pública brasileira. **Revista Científica de Administração, Contabilidade e Economia**, [S.l.], v. 21, n. 1, p. 4-17, 2010.

KLIJN, E. H. Analyzing and managing policy processes in complex networks: A theoretical examination of the concept policy network and its problems. **Administration & Society**, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 90-119, 1996.

KLIJN, E. H.; KOPPENJAN, J.; TERMEER, K. Managing networks in the public sector: a theoretical study of management strategies in policy networks. **Public Administration**, [S.l.], v. 73, p. 437-454, 1995.

KLIJN, E. H.; TEISMAN, G.R. Strategies and Games in Networks. In: KICKERT, W. J. M.; KLIJN, E. H.; KOPPENJAN, J. F. M. **Managing complex networks**. London: SAGE, 1997.

KOOIMAN, J. **Modern Governance: New Government-Society Interactions**. London: SAGE, 1993.

KOPPENJAN, J.; KLIJN, E. H. **Managing uncertainties in networks: a network approach to problem solving and decision making**. London: Routledge, 2004.

KOSTEREV, D.; TAYLOR, C.; MITTLESTADT, W. Model Validation of the August 10, 1996 WSCC System Outage. **IEEE Transactions on Power Systems**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 967-979, 1999.

KONDEPUDI, D.; PRIGOGINE, I. **Modern Thermodynamics**. From Heat Engines to Dissipative Structures. Chichester: Wiley, 1998.

KRINGS, G. et al. Urban gravity: a model for inter-city telecommunication flows. **Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment**, [S.l.], 2009.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

KUSCHNIR, R.; CHORNY, A. H. Redes de atenção à saúde: contextualizando o debate. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 5, p. 2307-2316, 2010.

LACOSTE, Y. **A Geografia**: isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra. Campinas: Papirus, 1989.

LAMBIOTTE, R. et al. Geographical dispersal of mobile communication networks. **Physica A**, [S.l.], v. 387, p. 5317-5325, 2008.

LANGTON, C.G. Computation at the edge of chaos: Phase transitions and emergent computation. **Physica D**, [S.l.], v. 42, n. 1-3, p. 12-37, 1990.

LE BOEDEC, K. Sensitivity and specificity of normality tests and consequences on reference interval accuracy at small sample size: a computer-simulation study. **Veterinary clinical pathology**, [S.l.], v. 45, n. 4, p. 648-656, 2016.

LECHNER, N. Three forms of social coordination. **CEPAL Review** **61**, [S.l.], p. 7-17, 1997.

LI, R. et al. Simple spatial scaling rules behind complex cities. **Nature communications**, [S.l.], v. 8, p. 1-7, 2017.

LIEBERMAN, E.; HAUERT, C.; NOWAK, M. A. Evolutionary dynamics on graphs. **Nature**, [S.l.], v. 433, p. 312-316, 2005.

LIMA, L. D. et al. Descentralização e regionalização: dinâmica e condicionantes da implantação do Pacto pela Saúde no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 7, p. 1903-1914, 2012.

LIMA, N. T.; FONSECA, C.; HOCHMAN, G. A saúde na construção do Estado Nacional no Brasil: Reforma Sanitária em perspectiva. In: LIMA, N. T. (Org.) **Saúde e Democracia: história e perspectivas do SUS**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2005.

LINDBLOM, C. E. The Science of Muddling Through. **Public Administration Review**, [S.l.], v. 19, p. 79-88, 1959.

LIU, Y.-Y.; SLOTINE, J.-J.; BARABÁSI, A.-L. Controllability of complex networks. **Nature**, [S.l.], v. 473, p. 167-173, 2011.

LOIOLA, E.; MOURA, S. Análise de redes: uma contribuição aos estudos organizacionais. In: FISCHER, T. **Gestão estratégica: cidades estratégicas e organizações locais**. Rio de Janeiro: FGV, 1996.

LIPNACK, J.; STAMPS, J. **The Age of the Network**. New York: Wiley, 1994.

LUCE, R.; RAIFFA, H. **Games and Decisions: Introduction and Critical Survey**. New York: Wiley, 1957.

LUENBERGER, D. G. **Introduction to Dynamic Systems: Theory, Models & Applications**. New York: John Wiley & Sons, 1979.

LUZ, M. T. Duas questões permanentes em um século de políticas de saúde no Brasil republicano. **Ciências & Saúde Coletiva**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 293-312, 2000.

MACHADO, L. T. **Formação do Brasil e unidade nacional**. São Paulo: Instituição Brasileira de Difusão Cultural, 1980.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MANNHEIM, K. **Ideology and Utopia: An Introduction to the Sociology of Knowledge**. London: Routledge & Kegan Paul, 1954.

MANDELL, M. P. Community collaborations: working through networks structures. **Policy Studies Review**, [S.l.], v. 16, n. 1, p. 42-65, 1999.

MANDELL, M. P. Network Management: strategic behavior in the public sector. In: GAGE, R.; MANDELL, M. P. **Strategies for managing intergovernmental policies and networks**. Praeger, NY, 1990.

MANDELL, M. P.; STEELMAN, T. A. Understanding what can be accomplished through interorganizational innovations. **Public Management Review**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 197-225, 2003.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARGULIS, L. **O planeta simbiótico: uma nova perspectiva da evolução**. Tradução de Laura Neves. Rio de Janeiro: Rocco, 2001.

MARITAN, A. et al. Universality Classes of Optimal Channel Networks. **Science**, [S.l.], v. 272, n. 5264, p. 984 –986, 1996.

MATTA, G. C. Princípios e Diretrizes do Sistema Único de Saúde. In: MATTA, G. C. Políticas de Saúde: a organização e a operacionalização do Sistema Único de Saúde. **Coleção Educação Profissional e Docência em Saúde: a formação e o trabalho do agente comunitário de saúde**, Rio de Janeiro, n. 3, p. 61-80, 2007.

MCGUIRE, M. Managing networks: propositions on what managers do and why they do it. **Public Administration Review**, [S.l.], v. 62, n. 5, p. 599-610, 2002.

MEIJERS, E. From central place to network model: theory and evidence of a paradigm change. **Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie**, [S.l.], v. 98, p. 245–259, 2007.

MENDES, Á. et al. O processo de construção da gestão regional da saúde no estado de São Paulo: subsídios para a análise. **Saúde e sociedade**, [S.l.], v. 24, n.2, p.423-437, 2015.

MENDES, E. V. **A atenção primária à saúde no SUS**. Fortaleza: Escola de Saúde Pública do Ceará, 2002.

MENDES, E. V. **As redes de atenção à saúde**. 2 ed. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2011.

MENDES, E. V. **Reflexões sobre a NOAS SUS 01/02**. 1º Seminário para construção de consensos: organização, gestão e financiamento do SUS. Brasília: CONASSS, 2003.

MENDES, M.; PALA, A. Type I Error Rate and Power of Three Normality Tests. **Pakistan Journal of Information Technology Journal**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 135-139, 2003.

METROPOLITAN Areas: Classification of Metropolitan Areas. In: Geographic areas reference manual (GARM). LAMACCHIA, R. A.; MARX, R. W.; SOBEL, J. (Orgs.). US Department of Commerce, Economics and Statistics administration. Bureau of the census. 1994. Chapter 13. p. 1-9.

MIEGHEM, P. V. et al. Influence of assortativity and degree-preserving rewiring on the spectra of networks. **The European Physical Journal B**, [S.l.], v. 76, n. 4, p. 643-652, 2010.

MILGRAM, S. The experience of Living in Cities. **Science**, [S.l.], v. 167, n. 3924, p. 1461-1468, 1970.

MILLER, R. W. **Fact and Method**: Explanation, Confirmation and Reality in the Natural and the Social. New Jersey: Princeton University Press, 1987.

MILWARD, H. B. Mapping the Linkage Structure of Networks. In: NETWORK ANALYSIS ON INNOVATIONS IN PUBLIC PROGRAMS, LaFollette Institute of Public Affairs, University of Wisconsin, 1994.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde. Marcus Vinícius Caetano Pestana da Silva e Eugênio Vilaça Mendes (Orgs.). **Pacto de gestão**: da municipalização autárquica à regionalização cooperativa. Belo Horizonte: Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais, 2004.

MITCHELL, M. **Complexity**: A Guided tour. New York: Oxford University Press, 2009.

MOLLOY, M.; REED, B. A critical point for random graphs with a given degree sequence. **Random Structures & Algorithms**, [S.l.], v. 6, n. 1-2, p. 161-180, 1995.

MONTILLA, D. E. Noções básicas da epidemiologia. In: BORGES, A. P.; COIMBRA, A. M. (Org.) Envelhecimento e Saúde da Pessoa Idosa. Rio de Janeiro: Fiocruz, p. 135-148, 2008.

MORINI, M. et al. Revealing evolutions in dynamical networks. **arXiv preprint arXiv:1707.02114**, [S.l.], 2017.

MOSTEFAOUI, S. K. et al. Self-Organising Applications: A Survey. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENGINEERING SELF-ORGANISING APPLICATIONS, [S.l.], 2003.

MOTTER, A. E. Cascade control and defense in complex networks. **Physical Review Letter**, [S.l.], v. 93, n. 9, p. 098701, 2004.

MYERSON, R. B. **Game theory: Analysis of Conflict**. Cambridge: Harvard University Press, 1991.

NEWMAN, M. Fast algorithm for detecting community structure in networks. **Physical Review E**, [S.l.], v. 69, n. 6, p. 066133, 2004.

NEWMAN, M. Complex Systems: A survey. **American Journal of Physics**, [S.l.], v. 79, p. 800-810, 2011.

NEWMAN, M. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010.

NEWMAN, M. The structure and the function of complex networks. **Society for Industrial and Applied Mathematics**, [S.l.], v. 45, n. 2, p. 167-256, 2003.

NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I. **Exploring Complexity**. New York: Freeman, 1989.

NOULAS, A. et al. A tale of many cities: Universal patterns in human urban mobility. **PLOS ONE**, [S.l.], v. 7, n. 5, 2012.

NOWAK, M. et al. Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations. **Nature**, [S.l.], v. 428, p. 646-650, 2004.

NOWAK, M. Evolutionary dynamics of cooperation. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS OF MATHEMATICIANS, Madrid, p. 1523-1540, 2006a.

NOWAK, M. Five Rules for the Evolution of Cooperation. **Science**, [S.l.], v. 314, p. 1560-1563, 2006b.

NOWAK, M.; SIGMUND, K. A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the prisoner's dilemma game. **Nature**, [S.l.], v. 364, p. 56-58, 1993.

NOWAK, M.; SIGMUND, K. Evolution of indirect reciprocity by image scoring. **Nature**, [S.l.], v. 393, p. 573-577, 1998.

NOWAK, M. A.; SIGMUND, K. Tit for tat in heterogeneous populations. **Nature**, [S.l.], v.355, p. 250-253, 1992.

NOZICK, R. **The nature of rationality**. Princeton: Princeton University Press, 1993.

ODELL, J. Agents and complex systems. **JOT** 1, [S.l.], p. 35-45, 2002.

OHTSUKI, H. et al. A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks. **Nature**, [S.l.], v. 441, p. 502-505, 2006.

OLIVEIRA, M. F. de. **Metodologia científica**: um manual para a realização de pesquisas em Administração. Catalão: UFG, 2011.

ONNELA, J.-P. et al. Structure and tie strengths in mobile communication networks. **PNAS**, Princeton, v. 104, n. 18, p. 7332-7336, 2007.

OSBORNE, M. J.; RUBINSTEIN, A. **A course in game theory**. Cambridge: The MIT Press, 1994.

O'TOOLE, L. J. Hollowing the Infrastructure: Revolving Loan Programs and Network Dynamics in the American States. **Journal of Public Administration Research and Theory**, [S.l.], v. 6, p. 225-42, 1996.

O'TOOLE, L. J. Implementing public innovations in network settings. **Administration & Society**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 115-139, 1997b.

O'TOOLE, L. J. Strategies for Intergovernmental Management Implementing Programs in Interorganizational Networks. **International Journal of Public Administration**, [S.l.], v. 11, p. 417-441, 1988.

O'TOOLE, L. J. Treating networks seriously: practical and research –based agendas in public administration. **Public Administration Review**, [S.l.], v. 57, n.1, p. 45-53, 1997a.

PAIVA, V. M. Ambientes virtuais de aprendizagem: implicações epistemológicas. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 26, n. 3, p. 353-370, 2010.

PALLA, G.; BARABÁSI, A.-L.; VICSEK, T. Quantifying social group evolution. **Nature**, [S.l.], v. 446, p. 664-667, 2007.

PALLA, G. et al. Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. **Nature**, [S.l.], v. 435, p. 814-818, 2005.

PARISI, G. **Complex systems**: a physicist's viewpoint. 2013. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0205297.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

PARRA FILHO, D.; SANTOS, J. A. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Futura, 2002.

PATULNY, R. V.; SVENDSEN, G. L. Exploring the social capital grid: bonding, bridging, qualitative, quantitative. **International Journal of Sociology and Social Policy**, [S.l.], v. 27, n. 1/2, p. 32-51, 2007.

PECI, A. Emergência e proliferação de redes organizacionais: marcando mudanças no mundo de negócios. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 6, p. 7-24, nov./dez. 1999.

PIMENTA, C. C. A reforma gerencial do Estado brasileiro no contexto das grandes tendências mundiais. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 5, p. 173-199, set./out. 1998.

PODOLNY, J. M.; PAGE, K. L. Network forms of organization. **Annual Review of Sociology**, [S.l.], v. 24, p. 57-76, 1998.

PORTER, M. E. **Competitive Strategy**: Techniques for analyzing industries and competitors. New York: Free Press, 1998.

PÓSFAL, M. et al. Effect of correlations on network controllability. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 3, n. 1067, 2013.

POWELL, W. W. Neither Market nor Hierarchy: Network Forms of Organization. **Research in Organizational Behavior**, [S.l.], v. 12, p. 295-336, 1990.

PRADO, E. F. S. Dilema do prisioneiro e dinâmicas evolucionárias. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 249-266, abr./jun. 1999.

PRADO JÚNIOR, C. Evolução política do Brasil. In: PRADO JÚNIOR, C. **Evolução política do Brasil e outros estudos**. São Paulo: Brasiliense, 1967 [1933].

PRIGOGINE, I. **As leis do caos**. Tradução de: Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 2002.

PRIGOGINE, I. **O fim das certezas**: Tempo, caos e as leis da natureza. Tradução de: Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora Fundação UNESP, 1996.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **Order out of Chaos**. New York: Bantam, 1984.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

PRODUTO Interno Bruto (PIB). Taxa de Crescimento Real. Brasil. Indexmundi.com. [s.d.]. Disponível em: <https://www.indexmundi.com>. Acesso em: 19 mar. 2020.

PROVAN, K. G.; MILWARD, H. B. Institutional-Level Norms and Organizational Involvement in a Service-Implementation Network. **Journal of Public Administration Research and Theory**, [S.l.], v. 1, p. 391-417, 1991.

PUMAIN, D. **Pour une théorie évolutive des villes**. Espace Géographique: Doin, v. 26, n. 2, p. 119-134. 1997.

PUTNAM, R. D. **Bowling Alone**: The Collapse and Revival of American Community. New York: Simon&Schuster, 2000.

PUTNAM, R. D. **Making Democracy Work**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1993.

QUELLER, D. C. Quantitative genetics, inclusive fitness, and group selection. **The American Naturalist**, [S.l.], v. 139, p. 540-588, 1992.

RADICCHI, F. et al. Defining and identifying communities in networks. **PNAS**, Princeton, v. 101, n. 9, p. 2658-2663, 2004.

RAVASZ, E.; BARABÁSI, A.-L. Hierarchical organization in complex networks. **Physical Review E**, [S.l.], v. 67, p. 026112, 2003.

RAVASZ, E. et al. Hierarchical organization of modularity in metabolic networks. **Science**, [S.l.], v. 297, p. 1551-1555, 2002.

REAL, R. Tables of significant values of Jaccard's index of similarity. **Miscellanea Zoologica**, v. 22, 1999.

RECORDATI, G.; BELLINI, T. G. A definition of internal constancy and homeostasis in the context of non-equilibrium thermodynamics. **Experimental Physiology**, [S.l.], v. 89, n. 1, p.27-38, 2004.

REDNER, S. Teasing out the missing links. **Nature**, [S.l.], v. 453, p. 47-48, 2008.

RHODES, R. A.W. **Control and Power in Central-Local Relations**. Aldershot: Gower, 1981.

RIECHARDT, J.; BORNHOLDT, S. Partitioning and modularity of graphs with arbitrary degree distribution. **Physical Review E**, [S.l.], v. 76, n. 1, p. 015102, 2007.

RIGOLI, F. et al. Tracking pregnant women displacements in Sao Paulo, Brazil: a complex systems approach to regionalization through the emergence of patterns. **BMC Med** 17, n. 184, 2019.

ROGERS, D. L.; WHETTEN, D. A. **Interorganizational coordination**: Theory, research, and implementation. Ames: Iowa State University Press, 1982.

ROLIM, L. B.; CRUZ, R. S.; SAMPAIO, K. J. Participação popular e o controle social como diretriz do SUS: uma revisão narrativa. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 96, p. 139-147, jan./mar. 2013.

SALMON, W. **Lógica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.

SAMPSON, E. E. Scientific paradigms and social values: Wanted – A scientific revolution. **Journal of Personality and Social Psychology**, [S.l.], v. 36, n. 11, p. 1332-1343, 1978.

SANTOS, F. C.; PACHECO, J. M. Scale-Free Networks Provide a Unifying Framework for the Emergence of Cooperation. **Physical Review Letters**, American Physical Society, v. 95, n. 9, p. 098104, 2005.

SANTOS, M. O retorno do território. In: SANTOS, M.; SOUZA, M. A. A. de; SILVEIRA, M. L. **Território: globalização e fragmentação**. 4. ed. São Paulo: ANPUR, p. 15-20, 1998.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. Coordenadoria de Controle de Doenças. Regionalização da Saúde no Estado de São Paulo. **As Regiões de Saúde do Estado de São Paulo**. [2010?]. Disponível em: <http://www.saude.sp.gov.br/coordenadoria-de-controle-de-doencas/banner/regionalizacao-da-saude-no-estado-de-sao-paulo>. Acesso em: 01 abr. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. **Plano Estadual de Saúde (PES) 2016-2019**. São Paulo, 2015. 228 p. Disponível em: http://www.saude.sp.gov.br/resources/ses/perfil/gestor/documentos-de-planejamento-em-saude/plano-estadual-de-saude-2016-2019-sessp/pessp_2017_11_01_17.pdf. Acesso em: 27 fev. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. **Plano Estadual de Saúde 2008-2011**. São Paulo: Secretaria de Saúde, 2008. Disponível em: http://www.saude.sp.gov.br/resources/ses/perfil/gestor/normas-e-procedimentos/plano_estadual_de_saude_2008_2011.pdf. Acesso em: 13 mar. 2020.

SCHLÄPFER, M. et al. The scaling of human interactions with city size. **Journal of The Royal Society Interface**, [S.l.], v. 11, 2014.

SCHARPF, F. Interorganizational Policy Studies: Issues, Concepts, and Perspectives. In: HANF, K.; SCHARPF, F. **Interorganizational Policy Making**. London: SAGE, 1978.

SCOTT, J. **Social Network Analysis: A Handbook**. 2. ed. Sage: London, 2000.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S.; COOK, S. W. **Métodos de pesquisa das relações sociais**. São Paulo: Herder, 1965.

SHALIZI, C.R. **Causal Architecture, Complexity and Self-Organization in Time Series and Cellular Automata**. University of Wisconsin at Madison: PhD thesis, 2001. Disponível em: <http://bactra.org/thesis/single-spaced-thesis.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

SILVA, E. C. da; GOMES, M. H. de A. G. Regionalização da saúde na região do Grande ABC: os interesses em disputa. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 1383-1396, 2014.

SILVA, S. F. da; SOUZA, N. M.; BARRETO, J. O. M. Fronteiras da autonomia da gestão local de saúde: inovação, criatividade e tomada de decisão informada por evidências. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 11, p. 4427-4438, 2014.

SLOTINE, J.-J.; LI, W. **Applied Nonlinear Control**. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.

SPAGNUOLO, R. S.; GUERRINI, I. A. A construção de um modelo de saúde complexo e transdisciplinar. **Interface – Comunicação, Saúde, Educação**, [S.l.], v. 9, n. 16, p. 191-194, 2005.

STROGATZ, S. H. **Nonlinear dynamics and chaos**: with applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering. Massachusetts: Perseus Books, 1994.

SVENDSEN, G.L.H. Studying social capital in situ: A qualitative approach. **Theory and Society**, [S.l.], v. 35, p. 39-70, 2006.

SVENDSEN, G.L.H.; SVENDSEN, G.T. **The Creation and Destruction of Social Capital**: Entrepreneurship, Co-operative Movements and Institutions. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2004.

TABNET DATASUS. Ministério da Saúde. Tecnologia da informação a serviço do SUS. Notas técnicas. **Procedimentos Hospitalares do SUS - Por local de internação - São Paulo**. [s.d.]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/qisp.def>. Acesso em: 20 mar. 2020.

TAYLOR, P. J.; HOYLER, M.; VERBRUGGEN, R. External Urban Relational Process: Introducing Central Flow Theory to Complement Central Place Theory. **Urban Studies**, [S.l.], v. 47, n. 13, p. 2803-2818, 2010.

TAYLOR, P. D. Altruism in viscous populations: an inclusive fitness model. **Evolutionary Ecology**, [S.l.], v. 6, p. 352-356, 1992.

TEIXEIRA, M. G. O imperativo do financiamento e da gestão: desafios ao Sistema Único de Saúde. **Revista de Direito Sanitário**, [S.l.], v. 4, p. 85-96, 2003.

TERMEER, C. J.; KOPPENJAN, J. F. Managing Perceptions in Networks. In: KICKERT, W. J. M.; KLIJN, E. H.; KOPPENJAN, J. F. M. **Managing complex networks**. London: SAGE, 1997.

THE COMPLEXITY & Artificial Life Research Concept for Self-Organizing Systems. Self-organizing systems FAQs Online. CALResCo.org. 2003. Disponível em: <http://www.calresco.org/sos/sosfaq.htm>. Acesso em: 20 abr. 2019.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normality of variables: diagnosis methods and comparison of some nonparametric tests by simulation. **Rev HCPA**, v. 32, n. 2, 2012.

TRAULSEN, A.; NOWAK, M. A. Evolution of cooperation by multilevel selection. **PNAS**, Princeton, v. 103, n. 29, p. 10952-10955, 2006.

TURNER, P. E.; CHAO, L. Prisoner's dilemma in an RNA virus. **Nature**, [S.l.], v. 398, p. 441-443, apr. 1999.

ULLMAN, E. L. A theory of location for cities. **American Journal of Sociology**, [S.l.], v. 46, p. 853-864, 1941.

VAN BUEREN, E. M.; KLIJN, E.-H.; KOPPENJAN, J. F. Dealing with wicked problems in networks: Analyzing an environmental debate from a network perspective. **Journal of Public Administration Research and Theory**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 193-212, 2003.

VÁZQUEZ, A. et al. Modeling bursts and heavy tails in human dynamics. **Physical**

Review E, [S.l.], v. 73, n. 3, p. 036127, 2006.

VÁZQUEZ, A.; MORENO, Y. Resilience to damage of graphs with degree correlations. **Physical Review E**, [S.l.], v. 67, p. 015101, 2003.

VIANA, A. L. et al. Regionalização e Redes de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 6, p. 1791-1798, 2018.

VIANA, A. L.; FAUSTO, M. C.; LIMA, L. D. Política de saúde e equidade. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 58-68, 2003.

VIANA, A. L.; MACHADO, C. V. Descentralização e coordenação federativa: a experiência brasileira na saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 807-817, 2009.

WAGNER, G. Efeitos paradoxais da descentralização do Sistema Único de Saúde do Brasil. In: FLEURY, S. **Democracia, descentralização e desenvolvimento**: Brasil e Espanha. Rio de Janeiro: FGV, p. 417-442, 2006.

WARWICK, F. **Toward a Transpersonal Ecology**: Developing New Foundations for Environmentalists. Boston: Shambhala Publications, 1990.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. **Nature**, [S.l.], v. 393, p. 440-442, 1998.

WEIL, P. **Rumo à nova transdisciplinaridade**. [S.l.]: Summus Editorial, 1993.

WEST, G. **Scale**: the universal laws of life, growth, and death in organisms, cities, and companies. New York: Penguin Books, 2017.

WILENSKY, U.; RAND, W. **An Introduction to Agent-Based Modeling**: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo. Cambridge/London: MIT Press, 2015.

WINDHOFF-HÉNTIER, A. The Internationalization of Domestic Policy: A Motor of Decentralization. In: ECPR JOINT SESSIONS, Limerick, Ireland, 1992.

WOLF, T. de; HOLVOET, T. **Emergence Versus Self-Organisation**: Different Concepts but Promising When Combined. Springer. Berlin, p. 1-15, 2005. Disponível em: <http://atransdisciplinaryapproach.com/wp-content/uploads/2014/02/de-wolf-emergence.pdf>. Acesso em: 15 mar.2019.

WU, B. et al. Universality of weak selection. **Physical Review E**, [S.l.], v. 82, p. 046106, 2010.

YU, W. et al. Second-order consensus for multiagent systems with directed topologies and nonlinear dynamics. **IEEE**, [S.l.], v. 40, n. 3, p. 881–891, 2010.

APÊNDICE A – Método de coleta de variáveis

Foram extraídas apenas variáveis situadas diretamente no Tabnet Datasus (s.d.) que possuam opção de download de dados em planilha do *Microsoft Excel*. Essas são expressas, em grande parte, no formato padrão de:

Figura 76 – Formato padrão da página de coleta de dados no Datasus

► PROCEDIMENTOS HOSPITALARES DO SUS - POR LOCAL DE INTERNAÇÃO - SÃO PAULO

Linha	Coluna	Conteúdo
Município	Não ativa	AIH aprovadas
Região de Saúde (CIR)	Região de Saúde (CIR)	Internações
Região de Saúde/Município	Macrorregião de Saúde	Valor total
Macrorregião de Saúde	Divisão administ estadual	Valor serviços hospitalares

► PERÍODOS DISPONÍVEIS

Dez/2008
Nov/2008
Out/2008
Set/2008
Ago/2008
Jul/2008

► SELEÇÕES DISPONÍVEIS

Fonte: Tabnet Datasus (s.d.).

As coletas são manuais e constituem 40 ou menos procedimentos (manuais) por página de coleta, considerando linha, coluna, conteúdo, períodos disponíveis e municípios. Página de coleta é tudo o que envolve uma página de seleção de variáveis no site tabnetdatasus, como demonstrado na figura 76. É imposto o limite de 40 procedimentos pois, em casos, é possível efetuar mais de 200 procedimentos manuais. Isso, efetuado em 200 páginas de coleta, acarretaria em 40000 coletas manuais. Assim, por limitação temporal, combinado ao fato de que o método empregado já possibilitar cumprir o objetivo (realizar coleta de grande número de dados), optou-se pelo limite de 40 procedimentos por página de coleta.

Esse arcabouço de ações é efetuado considerando, nas linhas, apenas municípios em formato puro (todas as opções dos últimos são consideradas, excluídos os casos que não tratam apenas de município, como “microrregião ibge/município”); nas colunas, desconsiderando todas as opções que tratam de aspecto geográfico (uma vez que a unidade escolhida é a municipal) e considerando todo o resto; no conteúdo, são consideradas todas as opções possíveis; todos os municípios possíveis e, no aspecto temporal, todos os 8 anos (2003 – 2010).

Em casos que o número de coletas manuais supere 40, é visado diminuir tal número para que a coleta atinja valor igual ou inferior a 40. Isso é efetuado sem alterar as opções de municípios (pela importância desse elemento) e sem deixar de coletar dados respectivos a

determinados anos (pelo aspecto crucial de possuir dados para o máximo de anos situados dentre o período selecionado). Logo, são ponderadas apenas a coluna e conteúdo na diminuição do número de procedimentos manuais.

Inicialmente, é tomada como obrigatória ou a coleta por ano ou coluna desativada (ambas são opções de coluna). Isso pois, ao ser selecionado “não ativa” em coluna, é permitida a coleta de todo o conteúdo simultaneamente. Por outro lado, a coleta por ano possibilita captar todo o período (de apenas uma opção de conteúdo) em um só procedimento manual. Caso existam mais opções de conteúdo do que de anos (são sempre 8), é escolhida a coleta por “não ativa” em coluna. Se existirem mais anos do que opções de conteúdo, é escolhida a opção de “ano” em coluna.

Posteriormente, afirma-se que é possível que algumas opções de conteúdo mensurem aspectos similares. Assim, selecionar apenas 1 opção de coluna e todas as de conteúdo pode gerar em coleta de dados que demonstram muita redundância. A mesma similaridade é possível dentre as opções de coluna. Destarte, se possível coletar, para todos os anos, ao menos 2 opções de conteúdo, duas opções de coluna são selecionadas. Caso contrário, apenas uma opção de coluna é escolhida. Após essa escolha, o máximo de opções de conteúdo (contanto que os procedimentos manuais não superem 40) é selecionado.

É almejado que as variáveis coletadas demonstrem baixa redundância entre si, para, assim, serem captadas diversos aspectos de cidades. Todavia, é uma tarefa arriscada identificar similaridade entre opções sem efetuar cálculos. Logo, cada escolha de opção, tanto de conteúdo quanto de coluna, é feita de forma randômica (para evitar influência do pesquisador). Se uma coluna demonstrar 5 opções, para serem selecionadas as coletadas, no *Excel 2007*, é utilizada a função “=ALEATÓRIOENTRE(1;5)”. O número obtido corresponde a uma opção de coluna, dada a ordem em que são expressas essas opções na página de coleta do Tabnet Datasus. Tal opção é selecionada. O mesmo é efetuado para conteúdo.

Caso uma página de coleta esteja fragmentada em mais de uma parte (por exemplo, em uma estejam expressos os dados referentes a 2003-2004 e, em outra, 2005-2010), devem ser averiguadas as opções de coluna, linha e conteúdo presente em ambas. Só devem ser coletadas as que situadas em todos os fragmentos da página de coleta.

Também devem ser conferidos, nas notas técnicas de cada fragmento (e também nas páginas que não demonstram fragmentos), se as variáveis são calculadas da mesma maneira. Caso isso não seja verídico, tais variáveis não devem ser coletadas. Toda página de coleta (fragmentada ou não) que não demonstre a opção de visualização de notas técnicas, por precaução, não foram fonte de dados.

Os dados também devem tratar do ano todo. Assim, não são coletados dados que tratam de partes do ano, como um mês, pois esse último pode demonstrar especificidades que diferem do ano todo. Também, dados dispostos por ano são maioria, o que possibilita coleta de maior número de variáveis. Durante a coleta, por meio de análise visual, foi buscado que todas as variáveis coletadas apresentem significativa quantidade de dados existentes para todos os anos e variáveis. A coleta também teve como intuito selecionar apenas variáveis expressas em valores absolutos.

APÊNDICE B – Buscas por rede de similaridade de variação de cidades ou elementos urbanos

No *Web Of Science*, foi feita pesquisa contando com as frases: “*Intermunicipal network of similarity in variations*”; “*Intercity network of similarity in variations*”; “*Intercity network based on similarity of variations of cities*”; “*Intermunicipal network based on similarity of variations of cities*”; “*Graph of cities based on similarity of variations of cities*” e “*Network of cities based on similarity of variations of cities*”. Todas essas frases foram pesquisadas ao mesmo tempo, por tópico, considerando “or” entre cada linha. Foram obtidos 21 resultados, nenhum indica grande similaridade com as RIUSVAAs e suas correntes. Em sequência, ao considerar “tópico” e “or”, foram efetuadas as pesquisas: “*interurban network of similarity in variations*”; “*Interurban network based on similarity of variations*” e “*urbans graph based on similarity of variations*”. Nenhum resultado foi identificado.