

Gustavo Vasconcellos Cavalcante

Ciência das Redes: Aspectos Epistemológicos

Brasília

2009

Gustavo Vasconcellos Cavalcante

Ciência das Redes: Aspectos Epistemológicos

Tese apresentada ao Departamento de Ciência da Informação e Documentação da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Informação. Linha de Pesquisa: Arquitetura da Informação.

Orientador:
Mamede Lima-Marques

CID/FACE-UNB

Brasília

2009

Cavalcante, Gustavo Vasconcellos.

C377c Ciência das Redes: Aspectos Epistemológicos/ Gustavo Vasconcellos Cavalcante.

- Brasília : CID/UnB, 2009.

151f. : il.

Inclui Bibliografia.

tese (doutorado) - Universidade de Brasília, 2009

Orientador: Mamede Lima-Marques.

1 - Ciência das Redes 2 - Epistemologia

3 - Arquitetura da Informação 4 - Ciência da Informação

5 - Redes I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título: "Ciência das Redes: aspectos epistemológicos"

Autor: Gustavo Vasconcellos Cavalcante

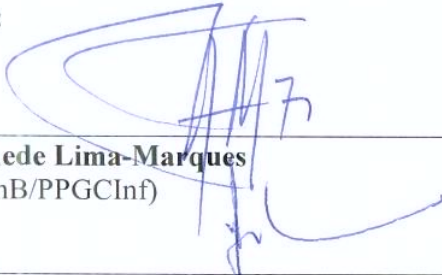
Área de concentração: Transferência da Informação

Linha de pesquisa: Arquitetura da Informação

Tese submetida à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação do Departamento de Ciência da Informação e Documentação da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor** em Ciência da Informação.

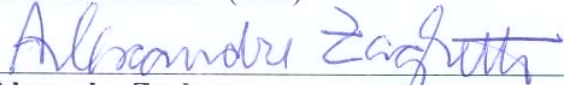
Tese aprovada em: 10 de dezembro 2009.

Aprovado por:

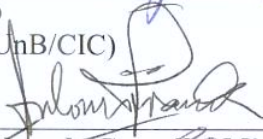


Prof. Dr. Mamede Lima-Marques
Presidente - (UnB/PPGCInf)

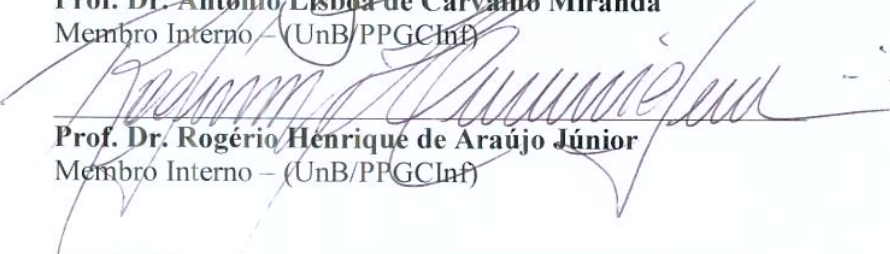
Prof. Dr. Flávio Soares Corrêa da Silva
Membro Externo - (USP)



Alexandre Zaghetto
Membro Externo - (UnB/CIC)



Prof. Dr. António Lisboa de Carvalho Miranda
Membro Interno - (UnB/PPGCInf)



Prof. Dr. Rogério Henrique de Araújo Júnior
Membro Interno - (UnB/PPGCInf)

Prof. Dr. Claudio Gottschalg Duque
Suplente - (UnB/PPGCInf)

Dedico esta tese a toda minha família.

Agradecimentos

Algumas pessoas marcam a nossa vida para sempre, umas porque nos vão ajudando na construção, outras porque nos apresentam projetos de sonhos e outras ainda porque nos desafiam a construí-los.

Primeiramente, agradeço a minha família, sempre solidária. À Ivette, pelo amor, apoio e presença em todos os dias desta pesquisa. Ao Renato, pelas horas concedidas para o desenvolvimento deste trabalho e subtraídas do nosso convívio. Aos meus pais, Radjalma e Tânia por minha formação e pelo incentivo contínuo.

Ao meu orientador Prof. Mamede Lima-Marques, pelo constante incentivo e apoio. Sua magistral orientação foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação da UnB, em especial ao professor Jaime Robredo, pela confiança no meu potencial, no momento de ingresso no programa de doutorado. Um agradecimento especial aos professores: Murilo Bastos da Cunha, Antônio Miranda, Sely Costa, Sofia Baptista e Suzana Mueller. À secretaria deste programa: Jucilene Gomes e Martha Araújo agradeço a gentileza com que sempre fui tratado.

À Câmara dos Deputados, agradeço esta oportunidade, especialmente nas pessoas de Luiz Antonio Eira, Patrícia Almeida, Fábio Cruz, Fernando Torres, Olival Jr e Guilherme Feijó, por possibilitarem a realização deste trabalho. Aos amigos João Marciano, Luís Conrado e Marcos Araújo pelo incentivo.

Aos colegas do Centro de Pesquisa em Arquitetura da Informação da UnB, agradeço a oportunidade do convívio e do compartilhamento de idéias.

Aos membros da banca, agradeço suas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Ao Brasil por ter me fornecido educação pública, gratuita e de qualidade, usufruída por mim na graduação, mestrado e doutorado.

"A educação   a capacidade de perceber as conexões ocultas entre os fenômenos."

V clav Havel

Resumo

Na época da escrita deste documento observa-se o alvorecer de uma nova ciência - A “Ciência das Redes”. Esta ciência, que por sua própria natureza já nasce com característica transdisciplinar, vem procurar buscar respostas aos desafios do novo milênio. A Ciência das Redes encontra-se ainda em sua infância e necessita demonstrar a sua robustez como ciência e para isso a busca de seus fundamentos epistemológicos é condição fundamental. O objetivo central deste trabalho é o de buscar bases epistemológicas e transdisciplinares para a “Ciência das Redes”. Para o alcance deste objetivo foi utilizado como fundamentação para a construção de um modelo epistemológico: o conceito de “Rizoma” oriundo dos trabalhos filosóficos de Gilles Deleuze e Felix Guattari, o “Pensamento Complexo” baseado na obra de Edgar Morin e as propriedades oriundas da Ciência das Redes.

Palavras-chave: Ciência das Redes; Rede Complexa; Epistemologia.

Abstract

Nowadays, there is the dawn of a new science - the “Network Science”. This science has already born transdisciplinary. Network Science is still in its infancy and needs to demonstrate its strength as a science and the search for its epistemological foundations is fundamental. The objective of this work is to search for epistemological and transdisciplinary bases of “Network Science”. It was used as the basis for the construction of an epistemological model: the concept of “Rhizome” coming from the philosophical works of Gilles Deleuze and Felix Guattari, the “Complex Thought” based on the works of Edgar Morin and the properties of networks originating from the Network Science.

Keywords: Network Science; Complex Network; Epistemology.

Resumen

En la época en que fue escrito este documento se observa el surgimiento de una nueva ciencia - La "Ciencia de las Redes". Esta ciencia, que por su propia naturaleza ya nace transdisciplinar, viene a buscar respuestas a los desafíos de un nuevo milenio. La Ciencia de las Redes se encuentra todavía en su infancia y necesita demostrar su solidez como ciencia y para esto es primordial la búsqueda de sus fundamentos epistemológicos. El objetivo central de este trabajo es buscar las bases epistemológicas y transdisciplinares para la "Ciencia de las Redes". Para alcanzar este objetivo fue construido un modelo epistemológico fundamentado en el concepto de "Rizoma"(oriundo de los trabajos filosóficos de Gilles Deleuze e Felix Guattari), del "Pensamiento Complejo"(baseado en la obra de Edgar Morin) y en las propiedades de la Ciencia de las Redes.

Palabras-Clave: Ciencia de las Redes; Red Compleja; Epistemología ;

Lista de Figuras

1	Inquisição	18
2	Metodologia de Metamodelagem M^3	26
3	Pesquisa pelo tópico “complex network(s)” na base “Web of Science”	27
4	Pesquisa pelo expressão “complex network(s)”, no título, na base “Web of Science”	27
5	Exemplo de Consórcio Internacional para pesquisas na área de de redes	29
6	Edição da revista <i>Science</i> dedicada ao estudo das redes	29
7	Ariadne e Teseu	32
8	Exemplo de rede	33
9	Reduccionismo	35
10	Rede Interligando o <i>Mundus Subterraneus</i>	39
11	Mapa de <i>Königsberg</i> no século XVIII	40
12	Esquema de <i>Königsberg</i> no século XVIII	40
13	Exemplo de Rede Social.	41
14	Exemplo de uma rede de colaboração científica	44
15	Exemplo da Teoria dos Grafos	45
16	Aplicações de grafos	45
17	Exemplo de um grafo aleatório	46
18	As redes sociais na Internet vêm apresentando um crescimento fenomenal	52
19	Laços fracos desempenham um papel importante na coesão de uma sociedade	54
20	Laços fracos e laços fortes	54
21	Modelo de Watts-Strogatz	56

22	Exemplo de Hubs	58
23	Exemplos de Distribuições com um valor de pico	59
24	Curva Normal	60
25	Exemplo de lei de potência	61
26	Exemplos de Lei de Potência	62
27	Rede Aleatória e Rede livre de escala	64
28	Ações em uma viagem de avião	72
29	Exemplo de Arquitetura em Camadas	73
30	Arquitetura ISO/OSI.	73
31	Complexus	76
32	Princípio dialógico do Yin e Yang	79
33	Efeito <i>Droste</i>	81
34	Exemplo de uma Figura Holográfica	81
35	Circuito recursivo do conhecimento	83
36	Exemplo de Retroalimentação	84
37	Equação de Brookes	88
38	Árvore do Conhecimento	92
39	Árvore de Porfírio	93
40	Exemplo de rizoma	94
41	Platão e Aristóteles	108
42	Porfírio retratado no <i>Liber de herbis</i>	109
43	Exemplo de estruturas de redes	111
44	Uma porção do grafo de colaboração - Erdos	114
45	Exemplo da formação de comunidades em uma rede	114
46	Exemplo da formação de comunidades em uma rede	115
47	Propriedades das Redes	117

48	Propriedades do Rizoma	119
49	Operadores do Pensamento Complexo	119
50	Propriedades da Ciência das Redes	120
51	Heteroconexidade	122
52	Exemplo gráfico de Recorribilidade - Mãos Desenhando - Escher	123
53	Recorribilidade	125
54	Propriedade <i>Matryoshka</i>	126
55	Corte transversal em uma <i>Matryoshka</i> (boneca russa)	126
56	Propriedade Matryoshka	127
57	Propagabilidade	128
58	Efeito Borboleta	128
59	Adaptabilidade	129
60	Autonomia	129

Lista de Tabelas

1	Níveis de pesquisa na Metodologia de Meta-modelagem M^3	26
2	Exemplos de Redes Aninhadas	67

Sumário

1	Introdução	17
2	Objetivos e Metodologia Pesquisa	23
2.1	Objetivo Geral	23
2.2	Objetivos Específicos	23
2.3	Metodologia e Classificação da pesquisa	23
2.4	<i>Weltanschauung</i> (Visão de Mundo)	24
2.5	Fontes da Pesquisa	26
2.6	Transdisciplinaridade da Pesquisa	30
3	Revisão de Literatura - Ciência das Redes	32
3.1	Introdução	32
3.2	Redes e a Ciência das Redes	33
3.3	Histórico do Estudo das Redes	38
3.3.1	O Mundo em Rede	38
3.3.2	As Sete Pontes de <i>Königsberg</i>	39
3.3.3	Redes no Século XX	41
3.3.3.1	Análise de Redes Sociais	41
3.3.3.2	A Matemática e as Redes	43
	Rapoport e Solomonoff	45
	Erdős e Rényi	47
3.3.3.3	A Sociologia, a Psicologia e o Fenômeno do Mundo Pequeno	48

	Karinthy	48
	Ithiel de Sola Pool e Manfred Kochen	49
	Jane Jacobs	49
	Stanley Milgram e Jeffrey Travers	49
	Mark Granovetter	53
	Ducan J. Watts e Steven Strogatz	55
3.3.3.4	A Física, os <i>hubs</i> e as Redes Livres de Escala	56
	Hubs	56
	Leis de Potência	57
	Redes Livres de Escala	62
	Crescimento das Redes Livres de Escala	64
	Aninhamento (<i>Nestedness</i>)	66
3.3.3.5	A Ciência da Informação	67
	Solla Price - Redescobrimo o pioneiro da moderna Ciência das Redes	67
3.4	Conclusão do Capítulo	69
4	Níveis de Abstração	70
4.1	Arquitetura em Camadas	71
4.2	Conclusão	74
5	Pensamento Complexo	75
5.1	Operadores do Pensamento Complexo	77
5.2	Conclusão do Capítulo	85
6	Rizoma e Modelos de Representação do Conhecimento	86
6.1	Conhecimento	86
6.2	Epistemologia ou Teoria do conhecimento	89

6.3	Representação do Conhecimento	90
6.4	Representação do Conhecimento: Modelo Arborescente	90
6.5	Representação do Conhecimento: Modelos Rizomático	94
6.6	Conclusão	98
7	Rede como Rizoma ?	99
7.1	Análise dos princípios do Rizoma	100
7.2	Conclusão do capítulo	103
8	Ciência das Redes e Propriedades das Redes	105
8.1	Definições	105
	Redes	105
	Ciência das Redes	106
8.2	O Conceito de Propriedade	107
8.3	Propriedades das Redes	109
	8.3.1 Propriedades Universais	110
	8.3.2 Propriedades Contigenciais	112
	8.3.3 Resumo	116
9	Desenvolvimento do Modelo	118
9.1	Propriedades	118
	9.1.1 Características Consideradas na Elaboração do Modelo	118
9.2	Bases Teóricas para a Criação do Modelo	119
	9.2.1 Isomorfismo	119
	9.2.2 Estruturalismo e a Busca dos Invariantes	120
9.3	Elaboração do Modelo	121
	9.3.1 Heteroconexidade	122
	9.3.2 Recorribilidade	123

9.3.3	Propriedade <i>Matryoshka</i>	125
9.3.4	Propagabilidade	127
9.3.5	Adaptabilidade	128
9.3.6	Autogovernança	129
9.3.7	Avaliação do Modelo	130
9.4	Conclusão	130
10	Considerações Críticas sobre o Trabalho de Pesquisa e Perspectivas da Ciência das Redes	131
10.1	Perspectivas da Ciência das Redes	133
11	Conclusão	136
11.1	Considerações Gerais	136
11.2	Contribuições deste Trabalho para o Estado da Arte	137
11.3	Sugestões para trabalhos futuros	137
11.4	Comentários Finais	138
	Referências	139

1 *Introdução*

*“Pigmaei gigantum humeris impositi plusquam ipsi gigantes vident”
(Anões, colocados sobre os ombros de gigantes, podem ver mais longe que os próprios gigantes)*

Bernard of Chartres - Filósofo do século XII (obs: citada por Isaac Newton no século XVII)

UMA história interessante é relatada por Ormerod e Roach (2003): Durante o século XIII, a inquisição perseguia os heréticos medievais, pessoas em países católicos que rejeitavam, entre outras coisas, a autoridade inquestionável do papa. A Igreja Católica usava um método grosseiro para lidar com os heréticos, ela simplesmente orientava aos cruzados a matar todos os que viviam em vilas e cidades suspeitas de abrigar dissidentes (BROOKS, 2003). Isto foi só o princípio e a igreja não conseguia acabar com a rede de heréticos com destruição indiscriminada. Os massacres aleatórios conseguiram um alívio temporário, mas a heresia sempre ressurgia.

Ormerod e Roach (2003) relatam que com a continuação da heresia, os inquisidores procuraram encontrar uma forma melhor de exterminar a epidemia herética. Em 1250, já existiam manuais para inquisidores detalhando a melhor maneira de derrubar uma rede de heréticos. Segundo o frade dominicano Bernardo Gui, cujo manual para inquisidores é provavelmente o mais conhecido (GUI, 1964), deixa claro que não adianta se concentrar em apenas um indivíduo. O esforço deveria se dirigir a identificar os heréticos que visitaram o suspeito em sua casa, bem como os guias que os conduziam até lá. O importante são as conexões, não os nós. Desta maneira, mudaram seu estilo de punição com a doutrina de isolamento. A atenção voltou-se para punições que restringiam os movimentos, ou destacavam o penitente. Foi assim que nasceu a pena de custódia: o uso da pena de prisão como uma punição por si mesma (ORMEROD; ROACH, 2003). Aqueles que tivessem contato com heréticos eram forçados a usar uma cruz amarela na frente e nas costas de

toda vestimenta visível. Quem era visto com um portador dessas cruzes corria o risco de ser acusado de simpatizante pela heresia. Esta medida funcionou, mas não deteve a sua disseminação.

Foi percebida a importância das conexões da rede. Assim, a heresia dependia das atividades de umas poucas pessoas influentes, e os inquisidores enviaram um espião para descobrir onde eles se escondiam. Vários frades dominicanos foram treinados na caça aos heréticos. Essa foi a fórmula ideal que a Inquisição adotou para lidar com as redes de heréticos.

Os inquisidores envolvidos eram conhecidos como pessoas que pensavam cientificamente. Afinal, os frades dominicanos constituíam uma das ordens mais cultas da época. Não era necessária uma quantidade enorme destes indivíduos para causar uma quantidade enorme de confusão e a inquisição havia entendido isso (BROOKS, 2003). A igreja percebeu o poder das redes sociais. Rede Social é uma das formas de representação dos relacionamentos afetivos ou profissionais dos seres humanos entre si ou entre seus agrupamentos de interesses. Desta forma, é possível caracterizar, na Idade Média, a existência de várias redes sociais como por exemplo: Maçonaria, Rosa Cruz, Ordem dos Templários, entre outras.



Figura 1: Durante a inquisição, os heréticos eram perseguidos. Fonte: imagem do filme “O nome da rosa” (IMDB, 1993b)

Quando pode-se compreender o poder das redes, passa-se a compreender melhor o mundo. Outro exemplo, foi a influencia do apóstolo Paulo de Tarso para a difusão do Cristianismo. Paulo, cujo nome original era Saulo, é considerado por muitos cristãos

como o mais importante discípulo de Jesus e, depois de Jesus, a figura mais importante no desenvolvimento do Cristianismo nascente. Os primeiros Cristãos formavam uma seita Judaica renegada e perseguida pelos Judeus e Romanos. Paulo, que inicialmente era um perseguidor de Cristãos, converteu-se ao Cristianismo e foi um dos principais responsáveis por transformar uma pequena seita Judaica na religião dominante no mundo ocidental nos próximos 2000 anos. Ele conseguiu esta façanha basicamente da seguinte maneira: defendendo a abolição da necessidade da circuncisão e dos estritos hábitos alimentares tradicionais judaicos (facilitando assim a conversão dos gentios) e principalmente, espalhando a mensagem do Cristianismo nas redes sociais existentes em sua época. Paulo caminhou mais de 15.000 km, não de uma maneira aleatória, mas buscando os grandes centros disseminadores de informação de seu tempo, onde o Cristianismo poderia germinar (BARABÁSI, 2003).

Atualmente, os mais perigosos agressores, desde a *Al-Qaeda* até as organizações criminosas como o Primeiro Comando da Capital (PCC) (atuando principalmente no estado de São Paulo), não são organizações militares com divisões pré-estabelecidas, são redes auto-organizadas do terror. Na ausência de sinais familiares de organização e ordem (ausência de hierarquia, por exemplo), são frequentemente chamadas de “exércitos irregulares” (DAVIS; PEREIRA, 2003, pg.4). Na verdade, estas redes criminosas obedecem a rígidas leis para determinar a sua topologia, estrutura e a capacidade de realizar ataques. Eles exploram todas as vantagens das redes auto-organizadas, tais como: flexibilidade e tolerância a falhas internas. O desconhecimento sobre esta estrutura pode ser extremamente perigoso para o efetivo combate a estas organizações criminosas.

A nossa sociedade está imensamente dependente das redes. As organizações criminosas se associam em redes sociais criminais e terroristas buscando falhas nas redes de infraestrutura crítica¹ conseguindo assim causar danos inimagináveis, devido a propagação deste dano na rede. Problemas causados em uma determinada localidade podem propagar-se e causar danos a vários quilômetros de distância. Arquilla e Ronfeldt (2001) nos alertam no livro *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy* para a ameaça destes grupos às redes de transporte e comunicação.

Se pudéssemos escolher uma palavra para resumir a sociedade do início do século XXI, esta palavra deveria ser “conectada”. Nós crescemos sem perceber a imensa interligação de redes necessária para nosso moderno estilo de vida. Somente quando existem problemas no fornecimento de algumas destas facilidades é que começamos a perceber a existência

¹Redes de infraestrutura crítica são redes que fornecem serviços essenciais para uma sociedade. Ex: energia elétrica, telecomunicações, água, dentre outras. Para mais detalhes ver Murray e Grubestic (2007).

de redes para: eletricidade, água, gás, TV à cabo, telefone, comunicação de dados, etc. Estas redes nos permitem contatar praticamente qualquer pessoa no planeta.

O termo “redes” pode ser utilizado em sentidos menos óbvios. A transmissão de doenças está diretamente relacionada à constituição da rede de conexão entre as pessoas. Os terroristas formam redes entre si com o objetivo de organizar um determinado atentado. Autores de um determinado ramo da ciência citam uns aos outros formando uma rede de citações. Organizações humanas formam redes entre si, possíveis de serem visualizados em organogramas e outros gráficos organizacionais. Doenças, tais como a A Influenza A H1N1 (comumente conhecida como Gripe Suína), se espalham de uma forma espantosamente rápida entre pessoas. Nosso cérebro é uma rede de alta complexidade constituída pela interligação de neurônios. Castells (2003) caracteriza a nossa sociedade atual como “A sociedade em rede”.

Na época da escrita deste documento estamos participando do alvorecer de uma nova ciência - A “Ciência das Redes”. Esta ciência, que por sua própria natureza já nasce com característica transdisciplinar, vem procurar buscar respostas aos desafios do novo milênio. A Ciência das Redes encontra-se ainda em sua infância e necessita demonstrar a sua robustez como ciência e para isso a busca dos seus fundamentos epistemológicos é condição fundamental.

Nos últimos anos, a perspectiva de rede tornou-se cada vez mais importantes em áreas como a ecologia, por exemplo. Como o ecologista Bernard Patten se expressa em suas observações conclusivas em Patten (1991): “Ecologia é redes ... Entender ecossistemas será, em última análise, entender redes”. Desta maneira, é possível observar que o conceito de redes foi de fundamental importância para os recentes avanços na compreensão científica, não apenas dos ecossistemas, mas também da própria natureza da vida. Todos nós precisamos compreender melhor as redes. O corpo de conhecimentos sobre redes cresceu de maneira significativa nos últimos anos e a Internet - a rede das redes - é hoje parte fundamental da vida de centenas de milhões de pessoas espalhadas por todo o mundo.

Apesar da onipresença das redes, as suas estruturas e propriedades não foram completamente compreendidas. Um exemplo pode ser o fato da falta de entendimento do mecanismo de como os genes que apresentam um mau funcionamento em uma rede metabólica complexa podem levar ao desenvolvimento de um câncer. Atualmente, por exemplo, não se compreende bem como falhas em uma rede metabólica pode levar ao desenvolvimento de um câncer. Outro exemplo, a ausência de conhecimento sobre o mecanismo da rápida difusão de vírus (tanto vírus no sentido biológico com também vírus de computador)

através de redes sociais e de computadores respectivamente (BARABÁSI, 2007).

A Ciência da Informação, pela sua própria natureza multidisciplinar, é um terreno fértil e acolhedor para pesquisas desta natureza. O ARIST (Annual Review of Information Science & Technology) publicou na sua edição de 2007 uma revisão de literatura sobre a nascente Ciência das Redes (BORNER; SANYAL; VESPIGNANI, 2007). Sabe-se que o tema escolhido para este trabalho e a abordagem escolhida fogem aos temas tradicionais normalmente escolhidos para trabalhos de tese em Ciência da Informação. Escolheu-se trabalhar com estruturas básicas e não diretamente com a ciência aplicada. Na Ciência da Informação convivem sem preconceitos pesquisas com abordagens das Ciências Humanas, Sociais, Exatas, Tecnológicas e Biológicas. Esta vocação para uma visão transdisciplinar pode ser uma diferencial competitivo para o desenvolvimento e fortalecimento desta Ciência.

Neste trabalho procurou-se realizar uma compilação sobre a Ciência das Redes buscando a contribuição das diversas áreas que constituem esta ciência e buscando bases epistemológicas que poderiam fundamentar esta ciência. Como apresentado na citação no início deste capítulo, nós nos apoiamos nos ombros de gigantes. Os gigantes, especificamente neste trabalho, são todos aqueles pesquisadores e filósofos, que atuaram em diversas ramos da ciência, pesquisando sobre redes, e também buscamos aqueles gigantes normalmente negligenciados, mas que trouxeram contribuições epistemológicas à Ciência das Redes.

No momento da escrita deste texto, existem pouquíssimas pesquisas relacionadas à Ciência das Redes em português e essas pesquisas são feitas principalmente em nichos na área das ciências naturais (principalmente na Física) e nas ciências exatas. Praticamente, inexistem textos, em português, sobre a Ciência das Redes e principalmente, como nesta pesquisa, abordando a sua transdisciplinaridade. O conhecimento da Ciência das Redes apresenta perspectivas promissoras, na medida em que ele nos trás subsídios para repensar a realidade em que vivemos e entender melhor vários fenômenos que ocorrem nos diversos ramos da ciência.

A pesquisa foi baseada principalmente no trabalho de Deleuze e Guattari (conceito de Rizoma) e em Edgar Morin (Pensamento Complexo) nos quais buscamos aportes para esta nova ciência.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 versará sobre a parte metodológica da pesquisa. Em seguida, será iniciada a Revisão de Literatura, sendo efetuada principalmente no Capítulo 3, onde será feita uma iniciação à Ciência

das Redes. Em seguida, será discutido o conceito de abstração em camadas na rede no Capítulo 4. Será iniciado a discussão de elementos fundamentais ao trabalho: no Capítulo 5 ao Pensamento Complexo, no Capítulo 6 será introduzido o conceito de Rizoma e no Capítulo 7 serão discutidas formas de representação do conhecimento - Rizoma e Árvore. No Capítulo 8 será apresentada uma compilação sobre as propriedades das redes. No Capítulo 9 será apresentado o modelo proposto. No Capítulo 10 será feita uma avaliação crítica do trabalho e traçaremos perspectivas para a Ciência das Redes. O Capítulo 11 será o capítulo de conclusão.

2 *Objetivos e Metodologia Pesquisa*

“A tarefa não é tanto ver o que ninguém tinha visto, mas pensar o que ninguém pensou a respeito do que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

Neste capítulo estão descritos os objetivos da pesquisa e suas características metodológicas.

2.1 **Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é o de buscar bases epistemológicas e transdisciplinares da Ciência das Redes.

2.2 **Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral desta tese, os seguintes objetivos específicos serão buscados:

- Realizar uma compilação didática e transdisciplinar sobre a Ciência das Redes.
- Buscar bases epistemológicas desta nova ciência e sua transdisciplinaridade.
- Verificar a aplicabilidade destas bases.

2.3 **Metodologia e Classificação da pesquisa**

Para Demo (1996, pg.34), a pesquisa se constitui em um “questionamento sistemático crítico e criativo, mais a intervenção competente na realidade, ou o diálogo crítico per-

manente com a realidade em sentido teórico e prático”. Fazer ciência não constitui uma atividade encerrada em si mesma, mas o estabelecimento de relações entre os fenômenos, a fim de se verificar as correlações entre eles. Este procedimento requer que o pesquisador adote uma postura crítica em que sequer escapa o próprio modo de se chegar ao conhecimento, os chamados obstáculos epistemológicos. São eles que impõem ao cientista a adoção de um caminho, de uma trajetória que leve à remoção dos problemas. Verifica-se, deste modo, que, quando se procuram explicações para o surgimento das verdades científicas e mesmo do progresso da ciência, marcado pela busca constante do conhecimento, chega-se a ele à medida que o cientista procura vencer obstáculos, que procura solucionar problemas (BACHELARD, 1996).

O método de procedimento adotado foi o monográfico. De acordo com Lakatos e Marconi (1993), este método é definido como um estudo sobre um tema específico ou particular, de suficiente valor representativo e que obedece a uma determinada metodologia. Do ponto de vista de sua natureza, esta pesquisa pode ser caracterizada como sendo uma pesquisa básica pois objetiva gerar conhecimentos novos, úteis para o avanço da ciência mas sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais. Analisando a forma de enfoque do problema, esta pesquisa tem uma natureza qualitativa pois considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números.

Sob a ótica dos seus objetivos, esta pesquisa é classificada como explicativa. Segundo Gil (1991), uma pesquisa explicativa visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, pode ser caracterizada como pesquisa bibliográfica, uma vez que a partir da revisão da literatura da área, tem como objetivo conhecer e analisar as contribuições existentes sobre determinado assunto ou problema. Foi uma pesquisa elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente por artigos científicos, livros, etc.

2.4 *Weltanschauung* (Visão de Mundo)

Weltanschauung é uma palavra de origem alemã que significa literalmente visão do mundo ou cosmovisão. Ela é adotada regularmente em diversas línguas com este significado e na forma original se tornou popular. Devido a este motivo será empregado o termo

em alemão.

Nesta pesquisa foi utilizada a metodologia de metamodelagem (M^3), baseada no trabalho de Gigch e Pipino (1986). Esta metodologia se baseia na teoria de sistemas multiníveis (MESAROVIC; MACKO; TAKAHARA, 1970) e na abordagem de meta-sistemas (KICKERT; GIGCH, 1979). A M^3 foi escolhida por tratar-se de uma metodologia adequada para compreender um objeto científico e conter preocupações epistemológicas ausentes em outras metodologias (GIGCH; MOIGNE, 1989). Como esta pesquisa não foca predominantemente em problemas da “vida real” e sim nos pressupostos epistemológicos, deve ser empregado um diferente grau de abstração e lógica, que não estão presentes em outras metodologias voltadas aos problemas do mundo real (ERIKSSON, 1998).

Os criadores da M^3 tinham em mente a sua aplicação inicial em sistemas de informação, porém esta metodologia tem se mostrado genérica o suficiente para ser adotada em praticamente qualquer ciência. Na Ciência da Informação ela tem sido usada com sucesso em trabalhos anteriores, como por exemplo, pode-se citar Soares (2004), Macedo (2005), Lorens (2007), Nascimento (2008), Siqueira (2008).

Gigch e Pipino (1986) adotam a noção de paradigma a partir de Kuhn (2003) e buscam o desenvolvimento de um arcabouço (*framework*) baseado em três níveis de abordagem:

1) Nível epistemológico, estratégico ou de meta-modelagem: representa o quadro conceitual e metodológico de uma determinada comunidade científica. Engloba as atividades que buscam definir a origem do conhecimento da disciplina, justificar seus métodos de raciocínio e enunciar a sua metodologia.

2) Nível científico. tático ou de modelagem: nível de desenvolvimento de teorias e modelos utilizados para descrever, explicar, modelar e prever os problemas e suas soluções.

3) Nível prático, operacional ou de aplicação: Este é o mais baixo nível desta metodologia. Aqui encontram-se os problemas da “vida real”, para os quais se aplicam as teorias, modelos, técnicas e tecnologias idealizadas nos outros níveis.

Na Tabela 1 é possível observar, de forma mais detalhada, cada nível de pesquisa presente na Metodologia de Meta-modelagem M^3 :

Como pode ser visto na Figura 2, a metodologia de meta-modelagem define que o propósito no nível da Epistemologia é desenvolver paradigmas que guiem a Ciência. O propósito no nível da Ciência é estender o conhecimento, formalizando teorias e modelos. O propósito no nível da Aplicação é solucionar problemas “do mundo real”, a partir das teorias e modelos desenvolvidos pela Ciência.

Tabela 1: Níveis de pesquisa na Metodologia de Meta-modelagem M^3

Nível de Pesquisa	Entrada	Sistemas de Investigação	Saída
Meta-nível	Filosofia da Ciência	Epistemologia	Paradigma
Nível do objeto	Paradigmas do metanível e evidências do nível inferior	Ciência	Teorias e modelos
Nível inferior	Modelos e métodos do nível do objeto e problemas do nível inferior	Prática	Solução de problemas

(GIGCH; PIPINO, 1986; ERIKSSON, 1998)

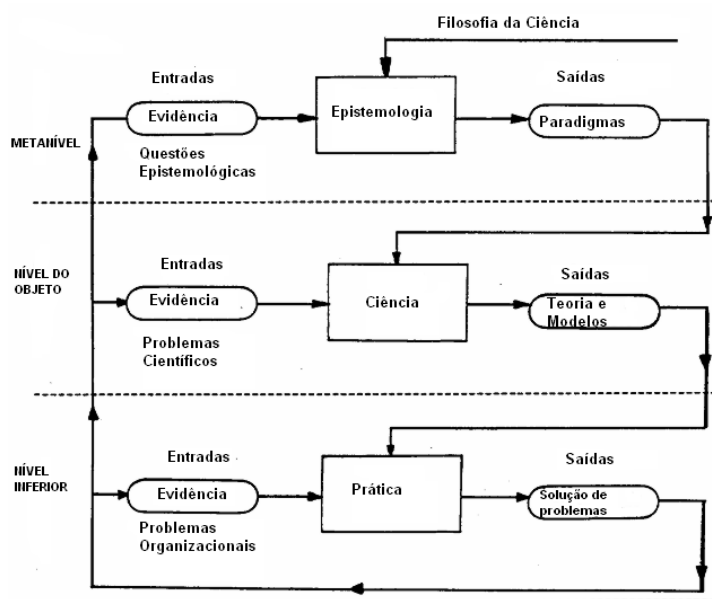


Figura 2: Metodologia M^3 . Fonte: (GIGCH; PIPINO, 1986)

Apesar da nossa visão de mundo abranger as 3 camadas Metodologia de Metamodelagem M^3 , é necessário limitar o escopo do trabalho. O enfoque desta tese está nos níveis epistemológico e no nível científico desta Metodologia de Metamodelagem. Isto não significa o abandono das demais camadas. Elas estarão sempre sendo consideradas, mesmo quando se estiver trabalhando nas camadas dos demais níveis.

2.5 Fontes da Pesquisa

As pesquisas sobre redes têm crescido de forma substancial na última década. Um dos itens que normalmente acompanham a emergência de uma nova área do saber é o do interesse crescente dos pesquisadores nesta área. Por exemplo, a quantidade de artigos científicos publicados com o foco em redes complexas cresceu de maneira substancial nos

últimos anos. Uma rede complexa é aquela que exibe comportamentos emergentes que não podem ser previstos *a priori* a partir das propriedades conhecidas dos elementos que constituem esta rede (BOCCARA, 2004). O termo “Ciência das Redes” é relativamente novo. Anteriormente esta área de pesquisa era estudada com o nome de Redes Complexas. Realizando um pesquisa sobre o termo “complex networks” no *Google acadêmico* e restringindo a pesquisa para os últimos 10 anos encontramos cerca de 19.500 artigos. Pesquisando em bases multidisciplinares, porém mais restritas, como “*Web of science*” é possível realizar algumas avaliações. Na Figura 3, pode-se visualizar a evolução no número de artigos com a expressão “Complex Network(s)” no tópico do artigo.

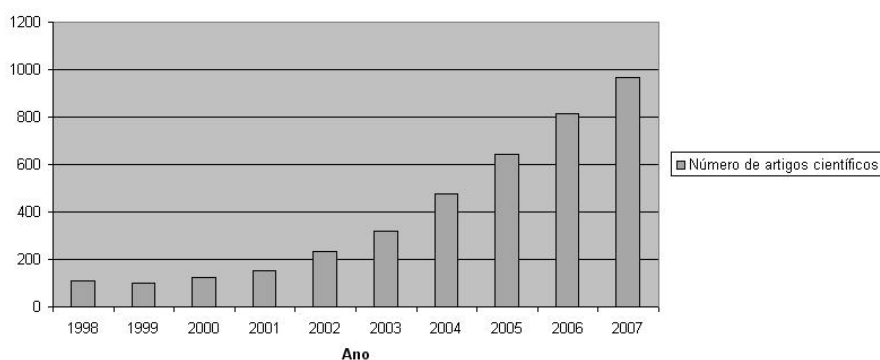


Figura 3: Pesquisa pelo tópico “complex network(s)” na base “Web of Science”

Na Figura 4, é possível visualizar a evolução no número de artigos com a expressão “Complex Network(s)” no título do artigo.

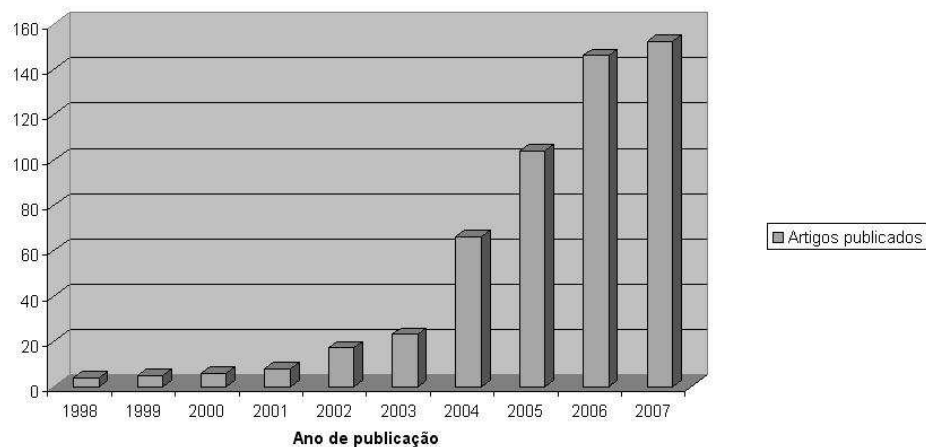


Figura 4: Pesquisa pelo expressão “complex network(s)”, no título, na base “Web of Science”

Como a Ciência das Redes é um campo muito jovem de pesquisa, existem poucas

publicações com este título especificamente. Porém, é muito importante termos bastante cuidado em pesquisas genéricas em buscadores. Uma pesquisa pura e simples sobre esta expressão em mecanismos de busca como o *Google Acadêmico*¹ pode nos levar a armadilhas. Procurando este termo pode-se incluir em nossa busca termos relacionados a assuntos diversos, tais como redes de computadores ou redes de eletricidade, por exemplo.

Estes mecanismos utilizados acima servem para rastreamento de citações. Isto é realizado para situar a evolução de publicações de um determinado tópico e com isto avaliar o crescimento do interesse em uma determinada área de pesquisa. Uma análise mais detalhada de como isto pode ser efetuado em uma determinada área do conhecimento (biomédica) pode ser encontrado em (BAKKALBASI *et al.*, 2006). England (2009) apresenta um tutorial detalhado e uma análise crítica de como isto pode ser efetuado utilizando vários repositórios de artigos científicos.

Devido a própria natureza desta pesquisa, foram consultados livros, artigos científicos, artigos de divulgação científica, revisões de literatura, dentre outros, em diversas bases de conhecimento. O portal da Capes contribuiu de maneira significativa para esta pesquisa e possibilitou acesso a uma ampla gama de periódicos, livros e bases de dados que foram utilizados para o aprofundamento da pesquisa e contribuindo significativamente para o sucesso desta.

Atualmente, as pesquisas sobre redes crescem cada vez mais. Os investimentos estão aumentando e também a visão de pesquisa mais transdisciplinar. Um exemplo, visto na Figura 5, é o consórcio formado pelos exércitos americano e inglês para pesquisas envolvendo redes.

No segundo semestre do ano de 2009, o assunto do estudo de redes continua sendo de alto interesse para a comunidade científica. Como exemplo pode-se citar a edição da notória revista *Science*, edição com data de 24 de julho de 2009, apresentada na Figura 6.

¹O Google Scholar (Google Acadêmico em português) é uma ferramenta de pesquisa do Google que permite pesquisar em trabalhos acadêmicos, literatura escolar, jornais de universidades e artigos variados. Como em outras ferramentas de pesquisa o Google Acadêmico ordena os resultados por ordem de relevância. Os critérios são a íntegra de cada artigo e seu autor, onde ele foi publicado e a frequência de suas citações na literatura acadêmica (NORUZI, 2005).

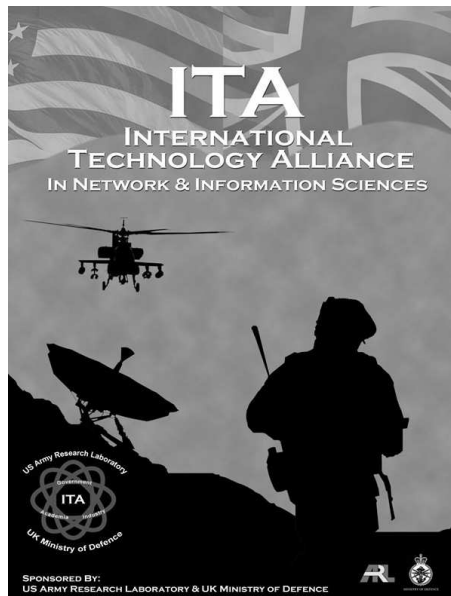


Figura 5: Exemplo: *International Technology Alliance in Network and Information Science* - Consórcio Internacional para pesquisas na área de de redes. Fonte: (ITA, 2009)

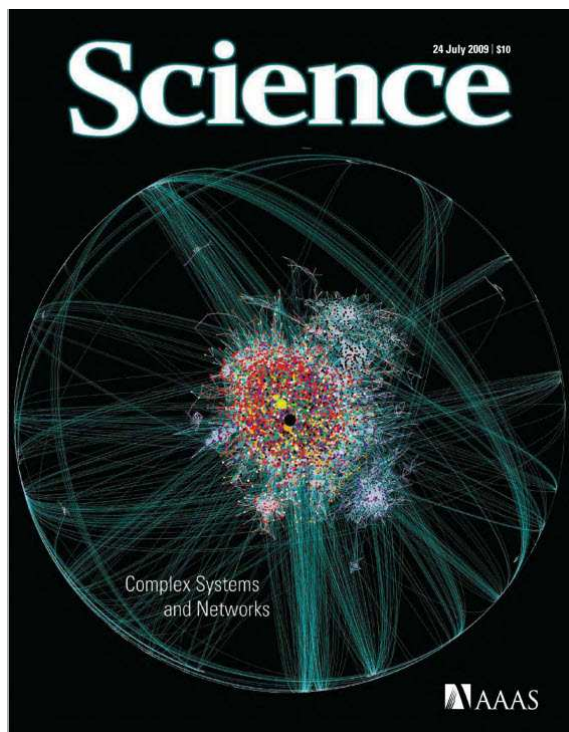


Figura 6: Edição da revista *Science* dedicada ao estudo das redes. Fonte: Science (2009)

2.6 Transdisciplinaridade da Pesquisa

“Um movimento em favor de uma nova visão do mundo está em marcha; ele procura substituir paradigmas ultrapassados pela ciência e propõe soluções efetivas para sair da crise de fragmentação que está levando a um suicídio a espécie humana.”

(WEILL; DAMBROSO; CREMA, 1993, p. 13)

O modelo cartesiano tem sido extremamente importante para o desenvolvimento da ciência, porém apresenta limitações. As disciplinas científicas tradicionais inspiram-se em idéias fundamentadoras do modelo cartesiano do conhecimento e fornecem uma visão estreita e limitada de aspectos específicos da realidade. Infelizmente, na comunidade científica ainda predomina esta visão fragmentada da realidade.

Miranda e Simeão (2003) nos alertam para este fenômeno:

“A Teoria Geral dos Sistemas deixou óbvia a inter-relação necessária entre todas as ciências, que umas dependem das outras para o seu próprio desenvolvimento; demonstrou que existe uma relação de complementaridade entre elas, além de sugerir a transferência dos conhecimentos de umas disciplinas para as outras”(MIRANDA; SIMEÃO, 2003).

O termo “transdisciplinar” segundo (WEILL; DAMBROSO; CREMA, 1993), Piaget foi o primeiro a utilizar o termo “transdisciplinar”. Em colóquio realizado na década de 70, ele afirmou:

“...enfim, no estágio das relações interdisciplinares, podemos esperar o aparecimento de um estágio superior que seria “transdisciplinar”, que não se contentaria em atingir as interações ou reciprocidades entre pesquisas especializadas, mas situaria essas ligações no interior de um sistema total sem fronteiras estáveis entre as disciplinas” (WEILL; DAMBROSO; CREMA, 1993).

Em outro artigo, Nicolescu (1997) explica as características de uma pesquisa transdisciplinar:

Como o prefixo “trans” indica, a transdisciplinaridade diz respeito ao que está, ao mesmo tempo, entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de todas as disciplinas. Seu objetivo é a compreensão do mundo presente, e um dos imperativos para isso é a unidade do conhecimento.

Após a análise da literatura foi encontrado uma enorme divergência na definição dos termos multidisciplinar, interdisciplinar e transdisciplinar. Neste trabalho é adotado a definição da OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development). Na pesquisa multidisciplinar, o assunto a ser estudado é abordado sob diferentes ângulos, a partir da utilização de diferentes perspectivas disciplinares, sem que exista uma integração completa entre as disciplinas. A perspectiva interdisciplinar nos remete a uma criação de uma identidade teórica, conceitual e metodológica entre as disciplinas assim os resultados obtidos são mais integrados e coerentes. A pesquisa transdisciplinar refere-se a um processo onde existe convergência entre as disciplinas, acompanhada pela integração mútua das epistemologias disciplinares (MORILLO; BORDONS; GOMEZ, 2003).

Analisando os três conceitos (multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade), pode-se afirmar que o que existe em comum entre eles é a capacidade de construir uma nova ciência, a partir da composição de outras ciências. A transdisciplinaridade, pode ser vista, como uma composição adequada das epistemologias das ciências herdadas. Adequada, na maneira do não aproveitamento completo das epistemologias herdadas, mas trazendo, apenas, a base epistemológica que interessa para a composição da nova ciência.

3 *Revisão de Literatura - Ciência das Redes*

"Connecto ergo sum."

Lennart Björneborn (BJÖRNEBORN, 1998)

3.1 Introdução

O lendário herói grego Teseu derrotou o Minotauro, monstro que habitava o célebre labirinto mantido pelo rei Minos. No mito grego, Teseu após matar o Minotauro conseguiu escapar do labirinto somente porque Ariadne tinha lhe dado um cordão de ouro no qual ele podia reconstituir suas passadas (como apresentado na Figura 7). Os mitos são uma infundável fonte de metáforas, e o cordão de Ariadne nos parece uma metáfora adequada para simbolizar a história: nós resolvemos um problema ou um quebra-cabeça inicialmente pela reconstituição do caminho que nos levou até aqui. Nesta revisão de literatura será reconstituído o caminho até o estado da arte no estudo das redes. Procurou-

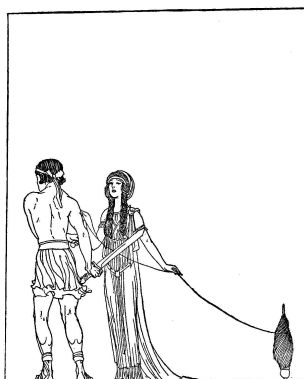


Figura 7: Ariadne e Teseu. Ariadne entrega a Teseu o fio que tornará possível a sua saída do labirinto. Fonte: (KELLCRAFT, 2009)

se fornecer um panorama desta área, e a história será o nosso guia.

3.2 Redes e a Ciência das Redes

O entendimento do complexo mundo que nos rodeia é uma tarefa das mais difíceis e princípios simples que capturem as características essenciais destes sistemas naturais complexos são sempre bem-vindos. Um destes princípios é a sua organização em rede constituída de diversos elementos que interagem entre si. Na natureza existe uma infinidade de tais sistemas: pessoas e redes sociais, neurônios e cérebro, computadores e redes de telecomunicação, dentre outros (BORNHOLDT; SCHUSTER, 2003).

As redes são descritas como um conjunto de itens conectados entre si. Estes itens são chamados de vértices ou nós, e as conexões entre eles são chamadas de arestas. As redes podem ser formadas de átomos, moléculas, plantas, células, palavras, citações, roteadores da Internet, paginas web, etc. Na literatura Matemática, redes também podem ser chamadas de grafos. Na Figura 8, pode-se observar um exemplo de uma rede.

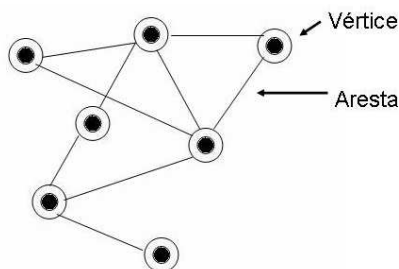


Figura 8: Exemplo de uma rede pequena com 7 vértices e 9 arestas.

Redes, tais como a Internet, a *World Wide Web*, redes biológicas e redes sociais têm sido objetos de intensos estudos recentemente. Pesquisadores das mais diversas áreas têm encontrado uma grande variedade de sistemas que podem ser representados como redes.

O conceito de redes permeia diversas áreas da ciência apresentando um vocabulário peculiar em cada uma destas. O que neste trabalho é chamado de nó, ou vértice, também é conhecido como ator (Sociologia) e sítio (Física). O que aqui é chamado de aresta, também é conhecido como laço (Sociologia), ligação (Física) e *link* (Ciência da Computação) (SÁNCHEZ, 2006).

Sistemas que tomam a forma de redes estão presentes de maneira abundante na natureza, desde o nível subatômico até as mais complicadas estruturas materiais e sociais

concebidas pela humanidade. Como exemplo, é possível citar: a Internet, a *World Wide Web*, redes sociais e outras conexões entre indivíduos, redes organizacionais, redes neurais, redes metabólicas, cadeias alimentares, redes de citações e artigos científicos, dentre outras (NEWMAN, 2003). A imagem de redes permeia a cultura moderna.

As relações econômicas no mundo globalizado em que vivemos, por exemplo, podem ser caracterizadas por uma complexa rede que interliga os diversos agentes econômicos interligados espalhados pelo mundo. Atualmente, é possível observar que uma crise causada por problemas domésticos nos Estados Unidos pode ocasionar uma reação em cadeia por todo o mundo.

É possível observar que, em grande parte das vezes, o estudo dos elementos constituintes de uma rede é insuficiente para explicar o seu comportamento. Existem variáveis importantes às ligações e às formas de construção da rede. Propriedades fundamentais da rede estão presentes na sua própria topologia, na descrição física ou geométrica das mesmas. Estes elementos são perdidos quando o foco deixa de ser a rede e passa a incidir apenas nos itens. Examinar apenas um neurônio não é o suficiente para descrever o cérebro, da mesma forma que a análise de um indivíduo ou computador não é suficiente para permitir conclusões amplas à respeito, respectivamente, das sociedades e da Internet (ANGELIS, 2005).

Esta característica apresentada pelas redes, pela qual a observação das partes não é capaz de descrever o todo, limita as abordagens analíticas que tem como pressupostos a decomposição de um problema em componentes menores.

É possível observar que o conhecimento científico sempre procurou unidades mais simples para explicar a realidade. Usualmente, isto é realizado de 2 formas (ZAGUETTO, 2009):

1. Através da decomposição dos elementos da natureza em subunidades.
2. Decomposição de um problema em subproblemas.

Isso levou-nos a descobertas fantásticas em várias áreas do conhecimento: a Biologia descobriu a célula, o gene e o ADN¹; a Física descobriu a molécula, o átomo e a partícula. Tudo o que não correspondesse ao esquema simplificador era abafado, ou eliminado. Esta redução é claramente empobrecedora do conhecimento porque deixa de explorar parte considerável da realidade.

¹ácido desoxirribonucleico ou mais, por convenção; DNA, do inglês, *deoxyribose nucleic acid*

Reduccionismo, em Filosofia, é o termo que designa toda atitude teórica que, para explicar um fenômeno complexo, procura reduzi-lo aos elementos simples que o constituem (JAPIASSÚ; MARCONDES, 1996). O Reduccionismo foi a força motora por trás de grande parte da pesquisa realizada no século 20. A ciência pregava que para compreender a natureza era necessário primeiro decifrar seus componentes (Figura 9). Era pressuposto que o entendimento das partes traria a compreensão do todo (Figura 9). Nós fomos treinados para estudar os átomos e supercordas para entender o universo; estudar genes individuais para compreender o comportamento humano. Expressões como “Dividir para conquistar” e o “O diabo está nos detalhes” têm feito parte do jargão da comunidade científica nos últimos séculos (BARABÁSI, 2003). Resgatando a história, pode-se voltar a René Descartes que criou o método do pensamento analítico, que consiste em quebrar fenômenos complexos em pedaços a fim de compreender o comportamento do todo a partir das propriedades das suas partes.

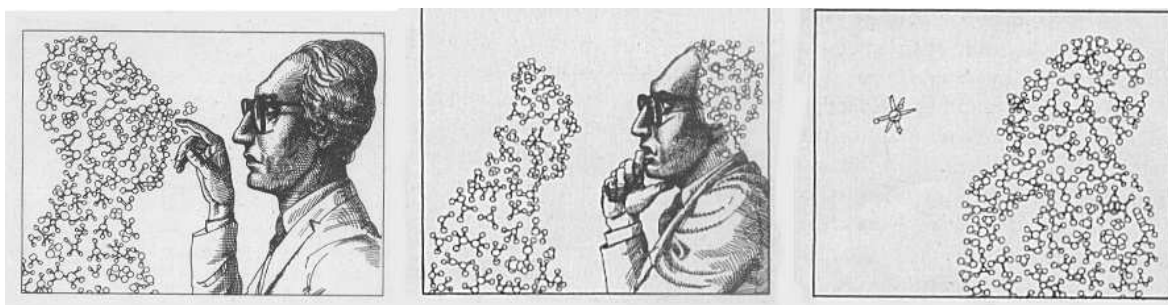


Figura 9: O Reduccionismo foi a força motora por trás de grande parte da pesquisa realizada no Século XX. Fonte: (MYSTICSPHERE, 2008)

O problema é quando escapa-se do Reduccionismo esbarra-se no campo árido da complexidade. Em sistemas complexos, determinados resultados podem ser “instáveis” no que diz respeito à evolução temporal como função de seus parâmetros e variáveis. Isso significa que certos resultados são causados pela ação e a interação de elementos de forma praticamente aleatória.

Na visão complexa de mundo, a realidade é essencialmente definida pelos relacionamentos e pelos processos. Cada um dos itens constituintes do sistema está relacionado, afeta e é afetado por todos os demais. Nas últimas décadas do século XX, parte da comunidade científica passou a se interessar pela dinâmica dos sistemas ditos complexos, cujas partes interagem de forma não-linear (TORRES, 2005; GLERIA; MATSUSHITA; SILVA, 2004).

Cada vez mais, é possível perceber que nada acontece isoladamente. A maioria dos

eventos e fenômenos estão conectados, causados pela interconexão de imenso número de peças neste complexo quebra-cabeça universal. Atualmente, cientistas de várias áreas do conhecimento têm descoberto uma que a complexidade possui uma arquitetura peculiar. Esta se descobrindo a importância das redes (BARABÁSI, 2003).

Callon (1994) nos lembra que o conceito (metáfora) de redes é parte de nosso vocabulário diário e que a sua polissemia pode facilmente causar confusões pois este pode ser aplicado em diversos contextos para aludir a diversas situações.

Pisani (2007) argumenta que as redes e a complexidade tem tantas coisas em comum que, muitas vezes, nós tendemos a pensar que este tema seja assunto somente para cientistas especializados, nos afastando assim destes conceitos. Praticamente todo sistema complexo pode ser pensado como uma rede. Átomos formam uma rede fazendo macromoléculas. Proteínas formam uma rede fazendo células. Células formam uma rede fazendo órgãos e corpos. Nós formamos uma rede construindo sociedades e assim por diante. Estas redes têm muitas características em comum da sua topologia ao seu dinamismo (CSERMELY, 2006).

As redes têm a singularidade de atuarem como estruturas emergentes, ou seja, próprias de sistemas complexos e dinâmicos (KLUVER; SCHMIDT, 1999). Em outras palavras, as redes revelam estruturas sociais (padrões de interação) que podem evoluir de forma não-linear e, portanto, produzir conseqüências imprevistas sobre determinado contexto. O importante é que essa ação emergente tem implicações nas macro e micro-dimensões, e a compreensão desse processo crítico nos aproxima muito mais da realidade cotidiana.

Com a Internet fazendo parte de nossa cultura, o termo rede faz parte do vocabulário de nossa era. Normalmente associado a rede de computadores, é possível encontrarmos este termo utilizado para nomear, por exemplo, empresas, revistas e jornais.

Nos últimos anos, um grupo diverso de cientistas, incluindo físicos, biólogos, matemáticos, sociólogos, cientistas da computação, dentre outros, vêm construindo um novo campo de pesquisa a “a nova Ciência das Redes” ou a também chamada Ciência das Redes (BARABÁSI *et al.*, 2002; WATTS, 2003). Este ramo científico foi impulsionado principalmente:

1. Pelos dados recentemente disponíveis de grandes redes mundo real (estrutura molecular das redes do mundo real, estrutura da Internet, dentre outros).
2. Aumento do poder computacional para processamento de dados.

3. Uma grande quantidade de pesquisas quantitativa na estrutura e dinâmica das redes (principalmente nos últimos 10 anos) .

Trata-se de um tema multidisciplinar em que físicos, economistas, biólogos, sociólogos, engenheiros, cientistas de computação e psicólogos, dentre outros, têm se debruçado. A idéia principal por trás destes estudos refere-se ao fato de que redes tanto naturais (por exemplo, rede de células) como artificiais (como redes de relacionamento entre pessoas) possuem uma série de características em comum.

Esta nova ciência pode ser aplicada a praticamente todas as áreas do saber. As redes (sejam elas de computadores, células, pessoas, empresas ou moléculas) são o resultado de uma rede intrincada de conexões. A vida é o produto da interação de uma complexa rede de moléculas dentro das células. A economia é uma rede complexa de empresas e consumidores. A sociedade é uma rede complexa de pessoas conectada por laços de família, amizade e trabalho. A Internet é uma teia complexa de computadores. Todos fazemos parte de várias redes.

As Ciências Sociais têm utilizado o conceito de rede para compreender o funcionamento da sociedade do século XXI. Os trabalhos de Castells (2003) na Sociologia e de Benkler (2006) na Economia são marcos desta nova forma de compreender a sociedade atual.

Antevendo a importância da Ciência das Redes o exército americano encomendou uma pesquisa ao *National Research Council* (NRC, 2005), convocando a elite da comunidade científica americana em temas relacionados a redes, sobre a necessidade de uma Ciência das Redes e a resposta (de forma sintética) foi a seguinte:

- a. As redes estão no núcleo do estrutura econômica, social e política do século XXI. A demanda por conhecimento estruturado para projetar, adquirir e operar redes é universal e cresce rapidamente. Investimentos na Ciência das Redes são uma prioridade nacional urgente e estratégica.
- b. O conhecimento sobre a estrutura, dinâmica e comportamento de redes de grande infra-estrutura e redes sociais vitais ainda é primitivo.
- c. Os Estados Unidos não estão no caminho de consolidar o conhecimento já existente sobre redes.

Segundo (BARABÁSI *et al.*, 2002), as redes descrevem um grande número de sistemas

na natureza e na sociedade e, cada vez mais, está sendo reconhecido que a topologia e a evolução das redes reais são governadas por princípios robustos de organização.

Abre-se um campo de pesquisa promissor em termos de aplicações nas mais diversas áreas.

3.3 Histórico do Estudo das Redes

Nesta seção será visto algumas das descobertas fundamentais para a Ciência das Redes. Inicialmente, no século XVII, o polêmico Athanasius Kircher com sua visão da rede subterrânea foi um precursor do moderno estudo das redes. No século XVIII, houve a solução para o problema das pontes de Königsberg por Euler em 1736 que é usualmente citada como a primeira prova verdadeira da Ciência das Redes (sendo também considerado fato fundador da Teoria dos Grafos). A Teoria dos Grafos evoluiu de maneira significativa durante o século XX desenvolvendo um corpo de conhecimentos substancial (BONDY; MURTY, 1976; BORNHOLDT; SCHUSTER, 2003; DIESTEL, 2000; HSU; LIN, 2008; WEST, 2001).

3.3.1 O Mundo em Rede

Athanasius Kircher (1602-1680) - Jesuíta alemão, ocultista e polímata é considerado uma das mais curiosas e polêmicas figuras na história da ciência. Ele flertou com praticamente todos os mistérios de sua época: amplificação do som, corpos celestiais, museologia, botânica, pirâmides do Egito, dentre outros. Paula Findlen, em seu livro *Athanasius Kircher: the last man who knew everything* (FINDLEN, 2004), apresenta este personagem esquecido pela história. Seus livros, ricamente ilustrados, são considerados visionários e frequentemente repleto de erros, mas constituem-se em fascinante documento da história das idéias.

Kircher é considerado o primeiro a imaginar uma rede. Sua rede interligava o mundo subterrâneo por meio de canais que chegavam ou partiam de cavernas de fogo. É uma idéia impressionante em uma época em que nos mapas apareciam as cidades, mas não as ligações entre elas. Isto, pode ser considerado uma antevisão do moderno conceito de uma rede moderna, responsável pela interligação de pessoas, fornecimento de energia elétrica, dentre outras facilidades, conforme pode-se observar na Figura 10. Apesar da polêmica que envolve o seu nome, Kircher construiu em seus desenhos idéias básicas do que atualmente é chamado de rede.



Figura 11: Mapa de *Königsberg* no século XVIII, mostrando o rio e as sete pontes que inspiraram Euler a criar o seu primeiro grafo. Fonte: (MATHLAND, 2009)

Euler provou a impossibilidade da existência deste caminho. A prova de Euler foi baseada em uma observação: nós com um número ímpar de vértices, seriam obrigatoriamente, ou o ponto inicial, ou o ponto final do caminho. Um caminho contínuo, que percorra todas as 7 pontes, somente pode ter um ponto inicial e um ponto final. Então, este caminho não pode existir se tivermos um grafo com mais de dois nós com um número ímpar de vértices. Pode-se ver na Figura 12b que o grafo de Königsberg apresenta 4 nós com um número ímpar de vértices (BARABÁSI, 2003).

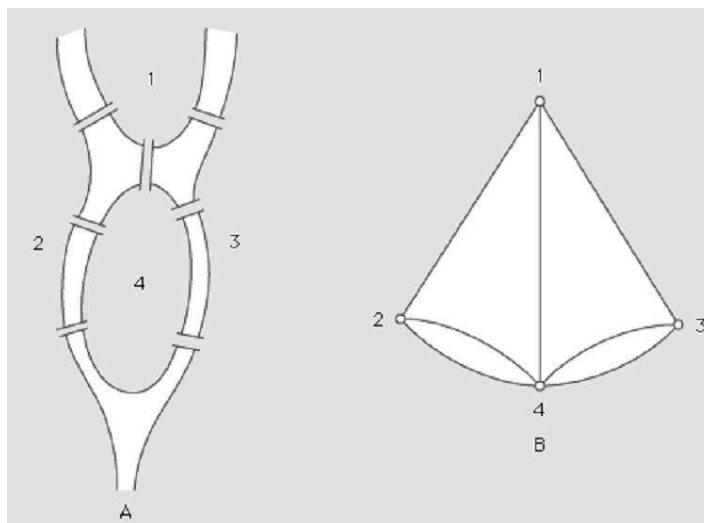


Figura 12: Esquema de *Königsberg* no século XVIII. Os nós deste sistema são as regiões 1, 2, 3, e 4. As arestas representam as pontes que conectam estes nós. Fonte: Britannica (2007).

A prova de Euler foi elegante e simples. Apesar disto, o que fez história foram os passos intermediários que ele utilizou para resolver o problema. A grande contribuição de Euler foi o ato de ver o problema de *Königsberg* como um *grafo*, uma coleção de *nós*

conectados por *ligações*.

Nesta prova, ele não somente resolveu este problema, como também iniciou um ramo da Matemática chamado de *Teoria dos Grafos*. A Teoria dos Grafos tem sido a principal ferramenta da Matemática para a descrição das redes (WEST, 2001).

3.3.3 Redes no Século XX

O grande desenvolvimento do estudo das redes ocorreu no século XX. A seguir, serão citadas as várias vertentes do estudo das redes durante este século.

3.3.3.1 Análise de Redes Sociais

As redes têm sido bastante utilizadas para modelar relacionamentos entre pessoas. Inicialmente, será iniciado com um modelo bem simples. Neste caso, cada nó representa uma pessoa e cada ligação entre os nós representa um relacionamento. Por exemplo, nesta pequena rede social que está apresentada na Figura 13, Ana, Bruno e Carlos são todos representados como nós. Como Ana está conectada com Bruno e Carlos, por meio de ligações, isto significa que Ana conhece Bruno e Carlos. Porém, como Bruno e Carlos não estão conectados por meio de ligações, eles não se conhecem.

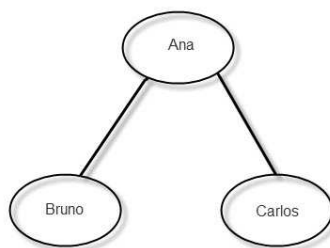


Figura 13: Exemplo de Rede Social

Algumas questões devem ser levadas em consideração quando representa-se uma rede social. Por exemplo: quem está conectado a quem? Quem está conectado ao maior número de pessoas? Qual a distância média entre as pessoas? Quais pessoas são mais importantes para que a rede permaneça conectada?

Essas redes têm sido estudadas de maneira extensiva nas ciências sociais. Na Sociolo-

gia, por exemplo, um estudo típico envolveria a circulação de questionários, indagando aos respondentes para que detalhem as suas interações com os outros. Isto pode ser utilizado para a construção de uma rede social nos quais os vértices representariam os indivíduos e as arestas representariam as interações entre eles.

A partir da década de 1930, é possível observar uma migração de conceitos da Teoria dos Grafos para as ciências sociais, mais especificamente para a Sociologia, Antropologia e Psicologia.

A análise de redes sociais (ARS ou SNA, da expressão em inglês *Social Network Analysis*) é uma abordagem oriunda das Ciências Sociais que estuda as ligações relacionais entre atores sociais. A ARS é uma metodologia que tem envolvido o estudo de grupos sociais, particularmente em termos de conexões sociais e comunicacionais dentro de um grupo. Os nós de uma investigação ARS podem ser pessoas, com conexões marcadas como laços entre os nós, formando uma rede que é matematicamente equivalente a quaisquer outras redes, como por exemplo, uma rede de páginas *Web* e as ligações entre estas páginas (THELWALL, 2004).

Nos anos 30, existiram 3 grupos que trabalharam de forma independente que contribuíram para o desenvolvimento da ARS (SCOTT, 2000):

1. A *Análise Sociométrica*, desenvolvida a partir dos trabalhos de Jacob L. Moreno (MORENO, 1934). Moreno era um psicólogo seguidor da tradição da *Gestalt* que chegou aos Estados Unidos na década de 1930. Moreno trabalhava com pequenos grupos e produziu muitos avanços técnicos utilizando as técnicas da Teoria dos Grafos. De acordo com Moreno, o indivíduo deve ser concebido e estudado por meio de suas relações interpessoais. No nascimento, a criança é inserida num conjunto de relações, primeiramente com sua mãe (que é seu primeiro ego auxiliar), seu pai, irmãos, avós, tios, etc.; este conjunto foi representado por um Sociograma. O Sociograma foi utilizado para diversas aplicações e foi o precursor do que hoje é chamado de *Análise de Redes Sociais*.
2. Pesquisadores da Universidade de Harvard que exploraram padrões de relacionamento interpessoal.
3. Antropólogos da Universidade de Manchester que utilizaram ambas as contribuições acima para o estudo das relações de *comunidades* em tribos e cidades.

Estas contribuições foram reunidas novamente na Universidade de Harvard nos anos

60 e 70, surgindo assim, o que é chamado da contemporânea *Análise de Redes Sociais*.

Rede Social é uma das formas de representação dos relacionamentos afetivos ou profissionais dos seres humanos entre si ou entre seus agrupamentos de interesses. Uma rede social, portanto, consiste de um ou mais conjuntos finitos de atores (e eventos) e todas as relações definidas entre eles.

A Análise de Redes Sociais esta associada a um conjunto de métodos e técnicas cujo o objetivo é a análise das relações entre atores sociais. Grande parte de sua terminologia, tais como: centralidade de ator, tamanho do caminho, componentes conectados, dentre outros, foram retirados diretamente da Teoria dos Grafos, ou adaptados diretamente desta ciência (NEWMAN, 2006).

A utilização da Análise de Redes Sociais vem crescendo de forma significativa nos últimos 20 anos em virtude do aumento da quantidade de dados disponíveis para análise, com o aumento do poder computacional e a ampliação das áreas de conhecimentos que utilizam esta técnica (MATHEUS; SILVA, 2006).

A Análise de Redes Sociais não pode ser considerada uma teoria formal, mas uma estratégia para investigar estruturas sociais. Esta técnica tem sido aplicada em diversas áreas, mais recentemente, na Ciência da Informação. As suas aplicações na Ciência da Informação são, principalmente, o estudo de publicações, citações e redes de co-citação, estruturas colaborativas e outras formas de colaboração. Dentre os trabalhos na área pode-se citar Otte e Rousseau (2002) e Thelwall (2004) e no Brasil Matheus e Silva (2006) e Marteleto (2001).

Na Figura 14 pode-se observar uma rede social que mostra os atores como pesquisadores e as ligações como co-autoria em artigo científico entre dois pesquisadores da área da Ciência das Redes.

3.3.3.2 A Matemática e as Redes

A Matemática é a ciência onde são tradicionalmente realizado trabalhos com redes de computadores. Dentro da Matemática o estudo das redes tem sido feito pela área chamada de “Teoria dos Grafos”. A Teoria dos Grafos estuda as relações entre os objetos de um determinado conjunto.

A teoria em que se baseia o moderno estudo das redes esta baseado em conceitos apresentados pela Teoria dos Grafos. Grafos são definidos, na Matemática, como estruturas compostas por conjunto de vértices (nós) e por um conjunto de pares destes vértices

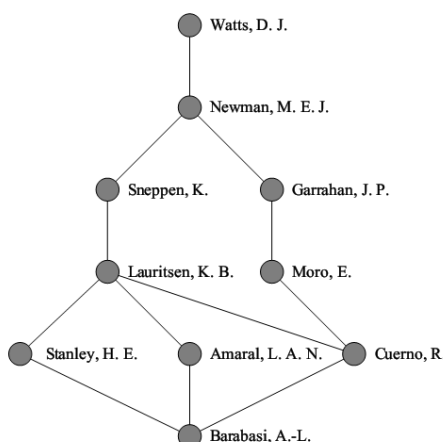


Figura 14: Exemplo de uma rede de colaboração científica entre Duncan Wattz e Albert-László Barabási. Fonte: (NEWMAN, 2000).

(arestas). A maneira usual de se desenhar um grafo é desenhando um ponto para cada vértice e unindo este dois pontos por uma linha, se estes dois vértices formam uma arestas (DIESTEL, 2000, p. 2). As arestas são utilizadas para indicar alguma espécie de relação entre os nós que ligam, em conformidade com o problema modelado. Tradicionalmente, os assuntos de interesse da Teoria dos Grafos incluem: caminhar na estrutura, descobrir o caminho mínimo (Um exemplo pode ser observado na Figura 15), se é possível colorir um mapa usando apenas 4 cores, movimentação de peças em um tabuleiro de xadrez, se é possível e como fazer para, a partir de um nó, atingir outro, etc. Na Figura 16 pode-se observar alguns outros exemplos de grafos.

Os grafos direcionados ou dígrafos são aqueles que são constituídos por pares ordenados de vértices, então denominados arcos e não mais arestas. Pode-se assumir que arcos têm um nó de origem e um de destino. Estes têm direção, sentido de percurso. Relações de sucessão passam a ser consideradas, existindo antecessores e sucessores de um nó. O caminhar precisa ser pautado pela componente unidirecional.

É importante observar, como nos lembra Bondy e Murty (1976, p. 1), que a Teoria dos grafos não se preocupa se existe ou não uma ligação real, física entre os nós, a ligação é imaterial.

O estudo da Teoria dos grafos constitui-se base fundamental para redes complexas. No estudo tradicional da Teoria dos Grafos usualmente trabalha-se com poucos nós, e os grafos tendem a ser regulares. Porém, também existe áreas internas à esta disciplina que trabalham aspectos dinâmicos da rede, como por exemplo a área que estuda fluxos em

criadores da Teoria Geral dos Sistemas e realizou contribuições significativas em diversas áreas da ciência tais como psicologia, teoria dos jogos, epidemiologia, dentre outros.

Nos anos 50, Rapoport estava estudando o alastramento de doenças em populações humanas como parte de grupo de pesquisa em matemática biofísica na Universidade de Chicago. Na época, muitos pesquisadores ignoravam os aspectos sociais das interações humanas no espalhamento de doenças. Este grupo da Universidade de Chicago afirmava que para o entendimento do alastramento de algumas doenças, o entendimento da rede de relacionamentos era crítico para determinar a gravidade de uma epidemia (WATTS, 2003).

Rapoport era um homem incomum para o seu tempo. Tinha interesse por matemática biológica em uma época em que essas ciências não se comunicavam. Era um visionário que vislumbrou, décadas antes, a importância e as propriedades das redes, desenvolvendo métodos que se concentravam nas propriedades estatísticas gerais das redes, como é comum atualmente, ao invés das propriedades particulares dos nós e vértices (NEWMAN, 2006).

Solomonoff e Rapoport (1951) introduziram neste artigo, pela primeira vez o conceito de grafo aleatório³ e demonstraram uma das mais importantes propriedades do modelo: que quando o número de arestas em um grafo é aumentado, a rede chega a um ponto em que subitamente passa de uma coleção de vértices desconectados para um estado conectado (NEWMAN, 2006). Matemáticos chamam este fenômeno de emergência de um *componente gigante* e físicos chamam de *percolação*.

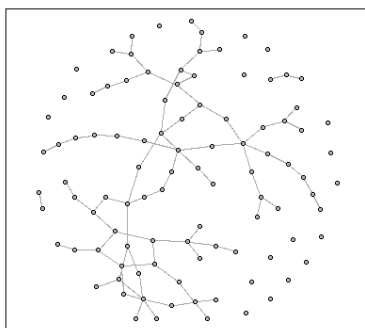


Figura 17: Exemplo de um grafo aleatório. Fonte: (BARABÁSI, 2003)

³Na Matemática, grafo aleatório é aquele que é gerado por algum processo randômico. Ex: se desenharmos um conjunto de pontos e fizemos a interconexão destes de forma aleatória, teremos um grafo aleatório, conforme pode-se observar na Figura 17 (BUCHANAN, 2002)

Estes conceitos de uma transformação súbita em eventos é apresentada novamente por Gladwell (2002). Para este autor, a melhor maneira de compreender o surgimento de novas tendências da moda, o fluxo e o refluxo de ondas de crimes, a transformação de livros em *best sellers*, e de vários outros fenômenos é pensar nestes eventos como epidemias. Segundo Gladwell, idéias, produtos, mensagens e comportamentos se espalham como vírus.

Erdős e Rényi

Paul Erdős (1913-1996) foi um matemático húngaro extremamente prolífico, com mais de 1500 artigos publicados com centenas de colaboradores. Como raramente publicava sozinho, Erdős, mais do que qualquer outro, foi creditado por “tornar a Matemática uma atividade social”. Possuía uma personalidade excêntrica e afirmava que o objetivo da Matemática era o de transformar café em teoremas e preferia viajar pelo mundo visitando outros matemáticos do que possuir o seu próprio lar.

Apesar dos esforços pioneiros de Rapoport e Solomonoff, a teoria dos grafos aleatórios se tornou popular graças aos trabalhos de Erdős e Rényi, no final dos anos 50 e início da década de 60. Entre estes trabalhos, o artigo mais influente foi Erdős e Rényi (1960). Neste artigo, é apresentado que muitas das propriedades dos grafos aleatórios emergem de uma maneira repentina, quando uma quantidade de arestas é adicionada ao grafo.

Erdős e Rényi são considerados os verdadeiros “pais” dos grafos aleatórios pela importância e alcance de seus resultados. Segundo Newman (2006), Erdős e Rényi, aparentemente, não tinham ciência do trabalho de Solomonoff e Rapoport (1951) e redescobriram vários de seus resultados independentemente, indo muito mais longe que os resultados alcançados anteriormente por Rapoport e Solomonoff.

Os resultados apresentados pelos grafos aleatórios contribuíram significativamente para o desenvolvimento da *Ciência das Redes*. Durante grande parte do restante do século XX, os grafos aleatórios dominaram o estudo das redes. Até recentemente não se tinha outra alternativa para descrever o nosso universo interconectado. As redes reais do nosso mundo eram vistas com aleatórias (BARABÁSI, 2003).

Atualmente, o modelo de grafo aleatório de Erdős e Rényi é utilizado como um tipo de *benchmark* para comparação com grafos não-aleatórios.

3.3.3.3 A Sociologia, a Psicologia e o Fenômeno do Mundo Pequeno

O “Fenômeno do mundo pequeno” (também conhecido como “Efeito do mundo pequeno”) é a hipótese que cada pessoa possa estar ligada a qualquer outra pessoa no mundo por uma cadeia curta de relações sociais. Este conceito nasceu a partir da *experiência do mundo pequeno* realizada em 1967 pelo psico-sociólogo Staley Milgram.

“A maneira mais simples da formulação do problema do mundo pequeno é “qual a probabilidade de que quaisquer duas pessoas, escolhidas ao acaso de uma grande população tal como a dos Estados Unidos, irão se conhecer ?” Uma formulação mais interessante, no entanto, levaria em conta o fato que, enquanto as pessoas a e z podem não se conhecer diretamente, elas podem compartilhar um ou mais conhecidos mútuos; isto é, deve existir um conjunto, B , (consistindo dos indivíduos $b_1, b_2 \dots b_n$) que conhece ambos a e z e então ligam assim um ao outro. Generalizando, a e z podem ser conectados não apenas por um conhecido em comum, mas por uma série de tais intermediários, $a-b-c \dots y-z$; por exemplo, a conhece b (e ninguém mais da cadeia); b conhece a e também conhece c , c conhece d , etc.” (TRAVERS; MILGRAN, 1969)

Karinthy

Segundo Braun (2004), o primeiro registro na literatura sobre este fenômeno foi apresentado pelo escritor húngaro Frigyes Karinthy em um conto chamado “Cadeias” (KARINTHY, 1929). Neste conto, Karinthy argumenta que o mundo está ficando menor. Ele afirma que as pessoas estão ficando cada vez mais conectadas por meio de seus conhecidos e que todos na Terra estão ligados por, *no máximo, 5 conhecidos de qualquer outra pessoa*. Conforme é possível observar no trecho a seguir:

“Um de nós sugeriu executar o seguinte experimento para provar que a população da terra está ficando cada vez mais próxima, agora, do que ela esteve antes. Nós podemos selecionar qualquer pessoa das 1.5 bilhões⁴ de habitantes da terra - qualquer pessoa, de qualquer lugar. Ele faz uma aposta conosco que usando no máximo que *cinco* indivíduos, um dos quais é um conhecido pessoal, ele pode contatar o indivíduo selecionado usando nada mais que a sua rede de pessoas conhecidas. Por exemplo, “Veja, você conhece o Sr. X.Y., por favor peça a ele para contatar seu amigo o Sr. Q.Z., que ele conhece, e assim em diante.” ” (KARINTHY, 1929)⁵

⁴População da terra na época em que o conto foi escrito.

⁵Traduzido a partir da versão na língua inglesa disponível em Newman (2006).

Ithiel de Sola Pool e Manfred Kochen

Pool e Kochen publicaram o artigo *Contacts and Influence* (SOLA POOL; KOCHEN, 1978) apenas em 1978, mas este artigo circulava desde o final da década de 50 na comunidade científica, na forma de um *preprint*, influenciando vários pesquisadores.

Este artigo levanta, pela primeira vez, problemas fundamentais para as redes. De acordo com seus autores, este artigo não foi publicado antes, pois estes não tinham as respostas para estas perguntas.

Entre as questões levantadas por este artigo, estão: Quantas pessoas um indivíduo conhece em uma rede? Qual o grau de distribuição da rede? Qual a probabilidade de dois indivíduos escolhidos ao acaso se conhecerem?

Segundo (NEWMAN, 2006) este artigo discute pela primeira vez em termos científicos o que é chamado de efeito do mundo pequeno.

Jane Jacobs

Segundo Newman (2006) a idéia de cadeias aparece novamente na literatura no livro de Jane Jacobs intitulado *The Death and Life of Great American Cities* (JACOBS, 1961). Este livro é considerado um dos livros mais influentes sobre planejamento urbano no século XX.

Neste livro, publicado originalmente em 1961 (possui uma versão em português, Jacobs (2001)) também é apresentado um jogo, neste caso chamado de *Mensagens*, onde o ganhador será a pessoa que conseguir enviar uma mensagem oral entre duas pessoas quaisquer, usando a cadeia mais curta.

Stanley Milgram e Jeffrey Travers

A idéia do mundo pequeno já era popular na Sociologia e na Psicologia. O primeiro experimento científico nesta área foi realizado pelo psicólogo social Stanley Milgram. O professor Milgram também é bastante conhecido por seus experimentos polêmicos na Psicologia experimental sobre os conflitos existentes entre obediência à autoridade e consciência pessoal (MILGRAM, 1974).

Milgram publicou vários artigos sobre seus experimentos sobre o mundo pequeno, sendo o primeiro e mais conhecido escrito para a revista *Psychology Today* (MILGRAM, 1967). Depois de realizar seus experimentos iniciais, Milgram começou um trabalho de cooperação com Jeffrey Travers e repetiu os experimentos de forma mais criteriosa.

O objetivo do experimento de Milgram era encontrar a “distância” entre quaisquer duas pessoas nos Estados Unidos (BARABÁSI, 2003). O objetivo do experimento foi conhecer qual o número de pessoas que seria necessário para interligar quaisquer dois indivíduos escolhidos ao acaso. Para realizar este experimento, Milgram utilizou o correio americano. Inicialmente, foram selecionados os indivíduos-alvo e um grupo de pessoas que seriam o ponto de partida para o experimento. Em seguida, um pacote foi enviado a cada pessoa que seria o ponto de partida do experimento. Neste pacote havia um livreto em que cada participante responderia sobre algumas questões pessoais. O objetivo era que cada participante tentasse encaminhar o pacote ao destinatário final. Se este não fosse conhecido do remetente, o remetente enviaria a algum conhecido que ele achasse que pudesse entregar o pacote ao destinatário final. Abaixo pode-se ver transcritas as regras deste experimento:

“*Regras para participação.* O documento continha as seguintes instruções para os participantes:

- a. Adicione o seu nome a lista de tal forma que a próxima pessoa que receba este pacote irá saber de onde ele se originou.
- b. Retire um cartão postal deste pacote. Preencha com os seu dados e o envie a Universidade de Harvard.
- c. Se você conhecer a pessoa-alvo de uma forma pessoal, envie este pacote diretamente para ele (ela). Faça isto apenas se você tiver anteriormente encontrado a pessoa alvo e se vocês se conhecerem de uma forma que se chamem mutuamente pelo primeiro nome.
- d. Se você não conhecer a pessoa alvo de uma forma que a chame pelo primeiro nome, não tente contatá-la diretamente. Em vez disso, envie este pacote para um conhecido pessoal que tenha maior possibilidade que você de conhecer a pessoa alvo. Você então enviará o pacote para um amigo, parente ou conhecido, mas deve ser alguém que você conheça pessoalmente.” (TRAVERS; MILGRAM, 1969)

Travers e Milgram recrutaram 296 pessoas que seriam os pontos iniciais do experimento: 196 de Omaha, Nebraska e 100 de Boston. A pessoa-alvo foi um corretor de valores que residia em Sharon, Massachusetts, uma pequena cidade nos arredores de Boston. Apenas 64 pacotes (29% dos pacotes remetidos) atingiram o seu destino. O número de indivíduos na cadeia variou de 1 a 11. O número médio encontrado foi de 5.2 intermediários (NEWMAN, 2006).

Segundo Barabási (2003), Milgram nunca utilizou a expressão “6 graus de separação”. Esta expressão se tornou popular devido a peça teatral de John Guare com este título na década de 1990 (GUARE, 1990). Posteriormente esta peça foi transformada em um filme de sucesso (SCHEPISI *et al.*, 1993), ajudando na popularização desta expressão. Neste filme existe um trecho que a personagem “*Ousa*” fala para sua filha:

“Eu li em algum lugar que todos neste planeta estão separados por apenas seis outras pessoas. Seis graus de separação entre nós e qualquer outra pessoa neste planeta. O presidente dos Estados Unidos, um gondoleiro em Veneza, apenas preencha os nomes. Eu achei extremamente confortante como nós somos próximos. Eu também acho que isto é como a tortura com água chinesa, que nós estamos tão próximos porque você tem que achar as seis pessoas corretas para fazer a conexão certa...Eu estou ligado a todos neste planeta por um caminho de seis pessoas.” (IMDB, 1993a)

É importante observar que o estudo de Milgram e Travers foi restrito aos Estados Unidos. Na peça é ampliado o escopo para todo o mundo. Mesmo assim, a idéia de um pequeno grupo de pessoas a nos conectar é uma idéia intrigante.

Existem numerosas críticas metodológicas ao experimento de Milgram. Como exemplo, é possível citar Kleinfeld (2002) que argumenta que o trabalho de Milgram apresenta distorções devido a escolha dos participantes e a alta taxa de insucesso ao para atingir as pessoas-alvo. Outra crítica que é feita ao experimento está na incapacidade dos participantes de saberem realmente qual seria o menor caminho para atingir o alvo, tendo em vista a incapacidade de estes possuírem um mapa completo de todas as relações sociais entre os indivíduos.

Em 2001, Duncan J. Watts, um professor da *Universidade de Columbia*, tentou recriar o experimento de Milgram na Internet, usando agora mensagens de e-mail, como o “pacote” a ser entregue. Este experimento, agora com 48000 remetentes e 19 pessoas-alvo (em 157 países). Surpreendentemente, Watts encontrou que o número médio de intermediários foi 6. Posteriormente Dodds, Muhamad e Watts (2003) realizaram um experimento com mais de 60.000 usuários de correio eletrônico que tentaram atingir uma das 18 pessoas em 13 países utilizando o encaminhamento de mensagens de *e-mail* e o resultado encontrado foi em média entre 5 e 7 passos.

Atualmente, onde existem muitos sítios de relacionamento social é possível observar este fenômeno. Sítios como *Orkut*, *MySpace* e *Facebook*, dentre outros, nos mostram a rede de relacionamento entre pessoas e a quantas pessoas cada um está ligado devido aos nossos amigos e conhecidos. Observa-se que as distâncias são pequenas entre os indivíduos.

A confirmação mais recente do fenômeno do mundo pequeno foi realizada por Leskovec e Horvitz (2008). Eles analisaram 30 bilhões de conversas eletrônicas feitas pelo comunicador MSN. Os pesquisadores usaram um universo de 180 milhões de usuários para realizar a pesquisa. Seu objetivo era descobrir a partir de quantas conexões uma pessoa qualquer pode chegar até outra pessoa qualquer. Assim, um usuário do Rio de Janeiro (A) era comparado a outro, da Índia (B), por exemplo. A pesquisa tentava achar quantas conexões eram necessárias para juntar A e B. Na média, o estudo chegou a conclusão que 6,6 contatos separam uma pessoa de outra.

O crescimento do fenômeno das redes sociais na Internet tende a ser um fenômeno inevitável. Os seres humanos são animais cooperativos (RIDLEY, 1997) (Figura 18). Em vista disto nosso cérebro tem desenvolvido formas de manter um inventário de nossos contatos. Estas conexões foram essenciais para a nossa sobrevivência como espécie. A automatização e as facilidades trazidas pela Internet levam a um novo patamar a interação entre pessoas em um ambiente onde as dimensões do tempo e da distância não são obstáculos.



Figura 18: As redes sociais na Internet vêm apresentando um crescimento fenomenal. Fonte: (BOSTON COLLEGE, 2009)

Existem segmentos em que é possível observar os relacionamentos entre os indivíduos de uma área específica. Dois exemplos clássicos:

- **O Oráculo de Bacon** (REYNOLDS, 2007) baseado no banco de dados do *Internet Movie Database* para determinar o número de ligações entre o ator Kevin Bacon e qualquer outra celebridade.

- **O Número de Erdős** (GROSSMAN, 2007) analisa o número de ligações entre os cientistas ao matemático Paul Erdős baseado em co-autoria de artigos científicos.

À primeira vista, não parece ser tão surpreendente a idéia que as redes são compactas. O que causa surpresa é o impressionante grau de compactação que foi observado por Milgram e pelos demais pesquisadores do *efeito do mundo pequeno* (DOROGOVITSEV; MENDES, 2003). A descoberta de Milgram é notável por duas grandes descobertas:

1. Cadeias curtas entre os nós são uma propriedade comum nas redes.
2. Os indivíduos são capazes de localizar estas cadeias.

Mark Granovetter

Mark Granovetter é um sociólogo americano, que no início da década de 70, foi um dos pioneiros no estudo das ciências sociais utilizando uma perspectiva de rede. Granovetter escreveu o artigo “a força dos laços fracos” (*The Strength of Weak Ties*) (GRANOVETTER, 1973), considerado, atualmente, um dos artigos mais influentes, já escritos, na área da Sociologia. Nesse artigo, Granovetter apresenta a sua pesquisa mostrando que para encontrar um emprego, as pessoas com um laço menor de amizade, iremos chamar de “conhecidos”, são mais importantes que os amigos no processo de encontrar um novo emprego. Os laços fracos desempenham um papel fundamental na coesão de uma sociedade.

Por que este resultado foi surpreendente? Normalmente, haveria a tendência a pensar que os laços fortes seriam mais úteis para encontrar um emprego. Os laços fortes (por exemplo: amigos próximos) poderiam dar toda a informação necessária e mobilizar todos os seus contatos de forma a ajudar a pessoa que está procurando emprego. Além disto, os amigos conheceriam melhor nossas habilidades e preferências, otimizando assim a busca de um emprego adequado.

“Uma idéia natural, *a priori*, é que aqueles com quem nos temos laços fortes são mais motivados para nos ajudar com a informação sobre os empregos. Ao contrário desta grande motivação estão argumentos estruturais que eu estou fazendo: aqueles com quem nós temos laços fracos têm mais probabilidade de mover em círculos diferentes dos nossos e assim terão acesso a informações diferentes daquelas que nós recebemos.”(GRANOVETTER, 1973)

Neste artigo, é possível observar que a sociedade não é uma rede onde todos os pontos são ligados de forma aleatória a vários outros. Na verdade ela é formada por vários

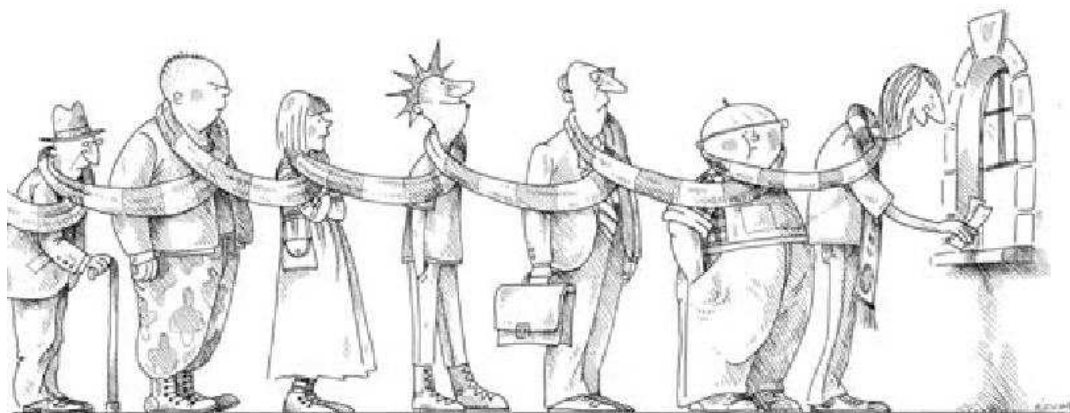


Figura 19: Laços fracos desempenham um papel importante na coesão de uma sociedade. Fonte: (CSERMELY, 2006)

grupos de pessoas que possuem laços fortes entre si (amizade ou parentesco, por exemplo) e esses grupos são ligados uns aos outros por laços fracos. Estes grupos são chamados de *clusters*⁶ (agrupamento).

Na Figura 20, pode-se observar a formação de *clusters*.

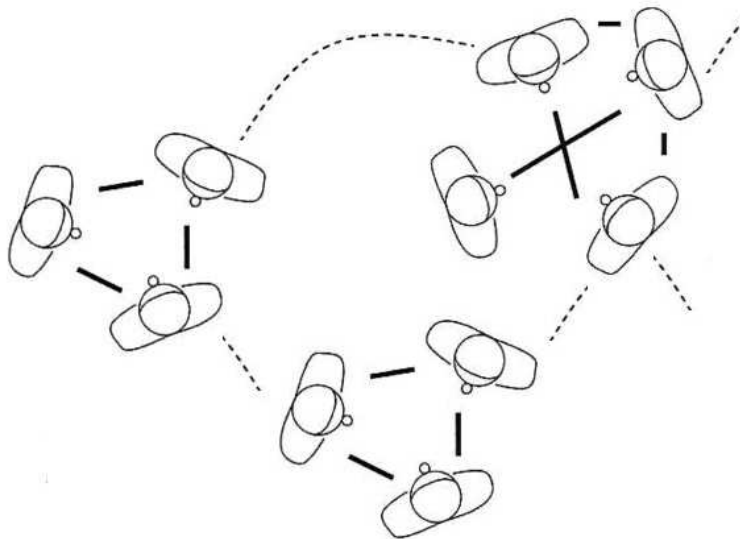


Figura 20: Laços fracos e laços fortes. Nesta figura é possível observar os laços fortes ligando às pessoas e os laços fracos ligando os elementos de grupos diferentes. Fonte: (BARABÁSI, 2003)

Em 2006, Peter Csermely publicou o livro “*Weak Links: Stabilizers of Complex Systems from Proteins to Social Networks*” (CSERMELY, 2006), neste livro Csermely defende a

⁶Neste trabalho será utilizado o termos em inglês *cluster* devido a sua popularidade na terminologia de redes.

tese que os laços fracos estabilizam sistemas complexos em geral. O autor usa interações fracas (baixa afinidade, baixa probabilidade de ocorrência) como meio para introduzir uma ampla variedade de de redes variando das proteínas aos ecossistemas.

Ducan J. Watts e Steven Strogatz

Ducan J. Watts é professor de Sociologia na Universidade de Columbia. Juntamente com Steven Strogatz foram os responsáveis pelo atual renascimento do interesse pela Ciência das Redes. Strogatz estudou o impacto da estrutura em sistemas complexos adaptativos no campo da Física e também explicou porque as células do músculo cardíaco batem de maneira sincronizada em mamíferos e também apresentou o mecanismo do *canto* sincronizado de uma certa espécie de vagalume sem que haja um controle centralizado. O estudo da sincronização em organismos vivos também é útil, por exemplo, para explicar:

- como um grupo de pessoas chega a um consenso
- como conduzir campanhas de Marketing de um produto
- como as corporações crescem e se tornam monopolistas (LEWIS, 2009).

A sincronização é um subproduto da estrutura das “Redes vivas” e nos auxiliam a explicar o seu comportamento (STROGATZ, 2003).

Watts e Strogatz publicaram um artigo na revista *Nature* (WATTS; STROGATZ, 1998). Este é provavelmente o primeiro artigo a comparar redes de campos radicalmente diferentes e mostrar que estas redes apresentam uma série de propriedades em comum (NEWMAN, 2006).

Este artigo também retomou o interesse pelo problema do mundo pequeno, mostrando que muitas das redes que fazem parte do mundo apresentam esta característica de serem redes do tipo mundo-pequeno, em outras palavras, que a distância entre quaisquer vértices das redes, normalmente é pequena.

Outra contribuição de Watts e Strogatz neste artigo foi o de generalizar o conceito de *cluster* para outras redes, além das redes sociais e de criar o conceito de *coeficiente de clustering* (coeficiente de agrupamento). Este coeficiente mostra o grau de ligação entre os membros do agrupamento. Segundo Barabási (2003), a descoberta que o conceito de *clustering* é onipresente e é uma propriedade geral das redes complexas, causou um grande impacto, na visão anterior randômica das redes do mundo real.

Na Figura 21 é possível observar as contribuições trazidas pelo modelo de Watts e Strogatz. Inicialmente na Figura 21a observa-se que o modelo apresenta um círculo de nós, onde cada nó está conectado ao seu vizinho anterior e ao próximo. Na Figura 21b, é possível observar que para que seja caracterizado o modelo do mundo pequeno algumas ligações entre nós são acrescentadas ao modelo. Estas ligações de longo alcance reduzem de maneira substancial a distância entre quaisquer dois nós do modelo, funcionando como um atalho e encurtando de maneira significativa a distância entre os nós.

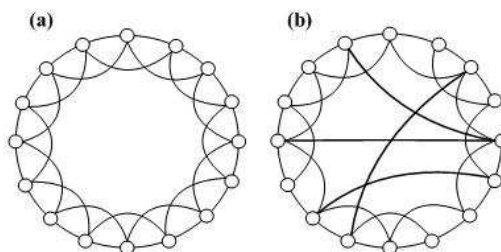


Figura 21: Modelo de Watts-Strogatz. Fonte:(WATTS, 2003)

3.3.3.4 A Física, os *hubs* e as Redes Livres de Escala

A Física é a ciência que tem trazido as maiores contribuições recentemente para o estudo da Ciência das Redes.

Hubs

No livro *O Ponto de Desequilíbrio* (GLADWELL, 2002), o escritor Malcom Gladwell apresenta uma pesquisa destinada a medir, de uma forma simples, o grau de sociabilidade de uma pessoa. Este teste foi realizado apresentando uma lista de 248 sobrenomes retirados de uma lista telefônica de Manhattan. As pessoas deveriam apontar quantas pessoas elas conheciam com aqueles sobrenomes.

O resultado interessante desta pesquisa foi a variação entre as pontuações máximas e mínimas. Mesmo em um grupo altamente homogêneo, com idade, educação e renda altamente homogêneos, a pontuação mínima foi de 16 e a mais alta de 108.

“No total fiz o teste com mais de quatrocentas pessoas. Dessas, duas dezenas ou mais tiveram pontuação abaixo de 20, oito acima de 90, e quatro ou mais acima de cem. A outra coisa surpreendente é que encontrei gente com pontuações altas em todos os grupos sociais que pesquisei...Pulverizado entre todas as camadas sociais, em outras palavras,

existe um pequeno número de pessoas com um talento extraordinário para fazer amigos e conhecidos. São os Conectores. ”(GLADWELL, 2002)

Os conectores, muitas vezes, conhecem pessoas que permeiam uma ampla faixa de classes sociais, culturais e geográficas. Os conectores são poucas pessoas socialmente prolíficas que mantêm unida toda uma rede social. Fofocas, rumores, notícias sobre a abertura de novos empregos, e outras informações tendem a se espalhar em uma rede social por meio dos conectores. Em várias outras redes do mundo real é possível observar estes nós com um alto grau de ligações, são os chamados *hubs*⁷ (concentradores).

Os *hubs* são nós com um anormalmente grande número de nós e são a propriedade fundamental de um grande número de redes. Segundo Barabási (2003), a descoberta dos hubs pôs em cheque tudo o que se sabia anteriormente sobre redes, pois anteriormente se achava que na natureza a distribuição das ligações seguiria uma distribuição mais igualitária de ligações, como ocorre, por exemplo, em redes aleatórias. Os *clusters* foram a primeira grande quebra ao modelo anterior randômico das redes proposto por Erdős e Rényi e a descoberta dos *hubs* foi o golpe final.

Na Figura 22 é possível observarmos a formação de *hubs* nas rotas aéreas de uma companhia aérea brasileira. Cidades como São Paulo, Brasília, Rio de Janeiro e Salvador funcionam nesta rede como *hubs*. Os *hubs* são os responsáveis pela interligação do sistema e quaisquer falhas operacionais ocorridas nestes, podem apresentar uma séria repercussão em todo o sistema. É possível observar, por exemplo, que acontecendo algum problema em um destes aeroportos, existirá um efeito cascata e provavelmente abalará o transporte aéreo em praticamente todo o país.

Como será possível compreender melhor nas próximas seções, os hubs determinam a estabilidade, comportamento dinâmico, robustez e tolerância a erros e ataques em uma rede do mundo real.

Leis de Potência

Para que seja possível o entendimento do comportamento dinâmico da rede será necessário a utilização de alguns elementos da estatística.

Os cientistas vêm descobrindo muitas coisas a partir de suas observações das distribuições estatísticas de quantidades experimentais, tais como:

⁷Neste trabalho será usado o termo em inglês *hub* devido a sua popularidade na terminologia de redes.



Figura 22: Exemplo de Hubs. Aqui é apresentado as rotas aéreas domésticas de uma companhia aérea brasileira. É possível observar a ocorrência de hubs, em cidades como Brasília, São Paulo e Rio de Janeiro. Fonte: (TAM, 2007)

- o tempo de vida de partículas atômicas excitadas;
- populações de animais plantas e bactérias;
- Quociente de Inteligência;
- tempo de chegada de mensagens enviadas em uma rede de computadores;
- preços de ações em bolsas de valores, etc.

Grande parte das distribuições de probabilidade encontradas na natureza, encontram-se ligadas em volta do seu valor médio (CLAUSET; SHALIZI; NEWMAN, 2007), seguindo uma distribuição em forma de sino. Por exemplo, se fosse feito a medição da altura de todos os alunos homens de uma determinada universidade seria encontrada uma média e a maioria

dos valores encontrariam-se próximo a média. Uma medida de alturas com uma grande variação em relação a média seria extremamente rara. Esta é uma distribuição bastante comum na natureza. Outro exemplo de uma grandeza que apresenta um valor de pico é a velocidade dos carros em uma rodovia. Na Figura 23 é possível observar esta distribuição. Neste caso é dito que estas variáveis seguem uma distribuição Normal ou distribuição *Gaussiana*. O nome *Gaussiana* foi dado em homenagem ao famoso matemático Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Na Figura 24 é possível observar um exemplo desta curva.

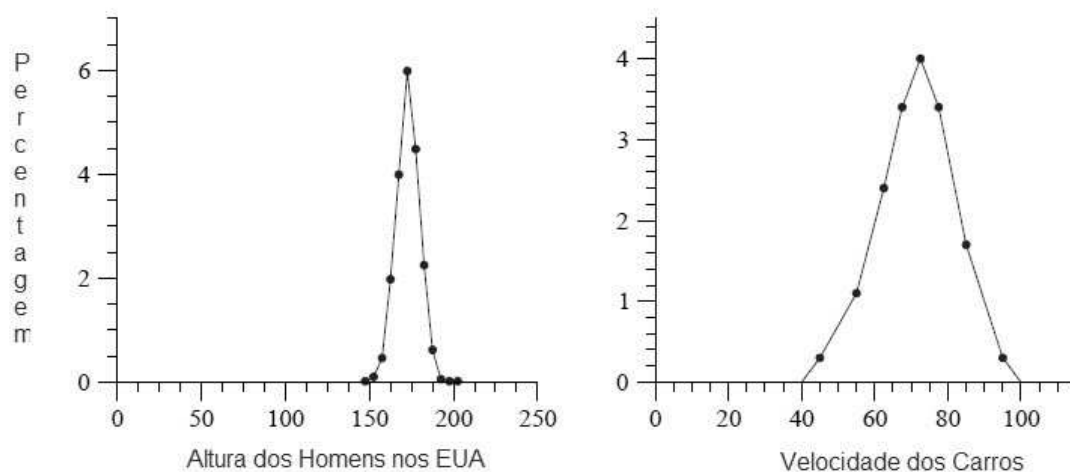


Figura 23: Esquerda - Histograma das alturas dos homens nos EUA Direita - Histograma das velocidades em uma autoestrada no Reino Unido Fonte: Newman (2005)

Esta curva tem uma *média* e um *desvio padrão* que é uma medida da extensão da curva. Na figura 25, as barras representam os desvios padrões. Quanto mais afastado do centro da curva normal, mais área compreendida abaixo da curva haverá. A um desvio padrão, tem-se 68,26% das observações contidas. A dois desvios padrões, possuímos 95,44% dos dados compreendidos e finalmente a três desvios, tem-se 99,73%. Esta curva costuma ocorrer sempre que se une vários fatores aleatórios e tende a reger muitos fenômenos do mundo real.

Um dos motivos para a distribuição Normal ser considerada tão importante é porque qualquer que seja a distribuição da variável de interesse para grande amostras, as distribuições das médias amostrais serão aproximadamente normalmente distribuídas, e tenderão a uma distribuição normal à medida que o tamanho de amostra crescer. Então pode-se ter uma variável original com uma distribuição muito diferente da Normal (pode até mesmo ser discreta), mas se for tomada várias amostras grandes desta distribuição, e



Figura 24: Curva Normal. Fonte: Aczel (2007)

então for feito um histograma das médias amostrais, a forma se parecerá como uma curva Normal. Este resultado é conhecido como o Teorema do Limite Central e é notável porque permite-nos conduzir alguns procedimentos de inferência sem qualquer conhecimento da distribuição da população (RICE, 1995).

Nas últimas décadas vários cientistas tem descoberto que ocasionalmente a natureza gera uma curva que segue uma **lei de potência** (O nome deriva do fato de que a curva tem a forma $1/x$, que é o mesmo que x elevado à potência -1). Neste tipo de curva um pequeno número de coisas ocorre com uma grande amplitude um grande número de coisas ocorre com uma baixa amplitude.

Como exemplo, Albert e Barabási (1999) fizeram uma pesquisa e desenharam o gráfico de páginas *web* (nós) pelo número de *links* para outras páginas *web*. Eles encontraram uma distribuição em forma de lei de potência como observada na Figura 25.

Em relação a distribuição normal vista anteriormente observa-se 2 grandes diferenças (WATTS, 2003).

1. Em distribuições que seguem a lei de potência não há um valor de pico em seu valor médio. Nesta distribuição tem-se uma curva contínua descendente.
2. A taxa de declínio na curva da lei de potência tende a ser muito mais lenta que a

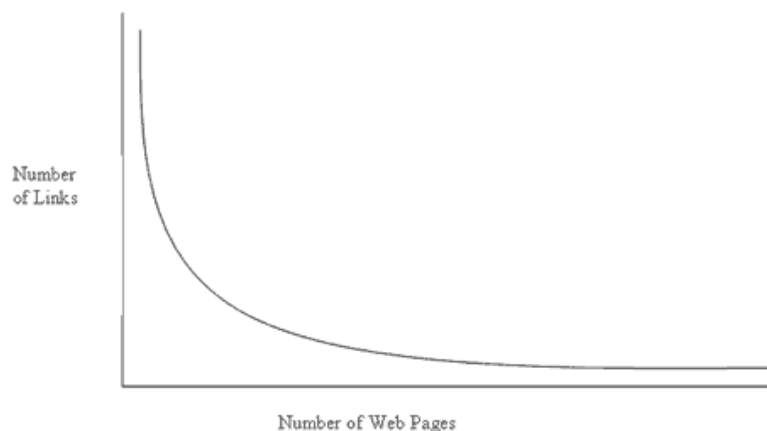


Figura 25: Exemplo de lei de potência. Fonte: (BARABÁSI; ALBERT, 1999)

taxa de queda da distribuição normal, havendo uma maior probabilidade de existir uma convivência entre eventos extremos. Por exemplo, no caso anteriormente citado da altura dos seres humanos (distribuição Gaussiana), o valor médio da altura para um brasileiro homem adulto é de 1,69m (IBGE, 2002-2003), apesar de encontrarmos muitas pessoas maiores e menores que a altura média não se encontram pessoas com o dobro deste valor nem com menos da metade do valor médio. Por outro lado, se analisarmos uma curva que segue uma distribuição em forma de lei de potência, como a população dos municípios do Estado de São Paulo por exemplo, obter-se-á o contraste de populações, como o da cidade de São Paulo com cerca de 10,5 milhões de habitantes e Borá com 795 habitantes (IBGE, 2000).

Na Figura 26 é possível observar as características da curva citada na observação do histogramas das cidades dos EUA com mais de 10000 habitantes.

A distribuição da riqueza no Brasil, por exemplo, segue uma lei de potência. Este fenômeno econômico da distribuição da riqueza de um país foi estudado inicialmente pelo engenheiro italiano Vilfredo Pareto (1848-1923) que demonstrou que a distribuição de riqueza seguia uma lei de potência para todo país europeu da época (estudo feito somente em países que existiam estatísticas confiáveis).

Mais adiante em 1949 George K. Zipf (1902-1950), professor de filologia em Harvard, descobriu “Princípio do Menor Esforço” que era na verdade uma redescoberta dos princípios de Pareto. O princípio dizia que os recursos (bens, pessoas, tempo ou qualquer outro fator produtivo) tendiam a se arranjar de forma que aproximadamente 20-30 por cento

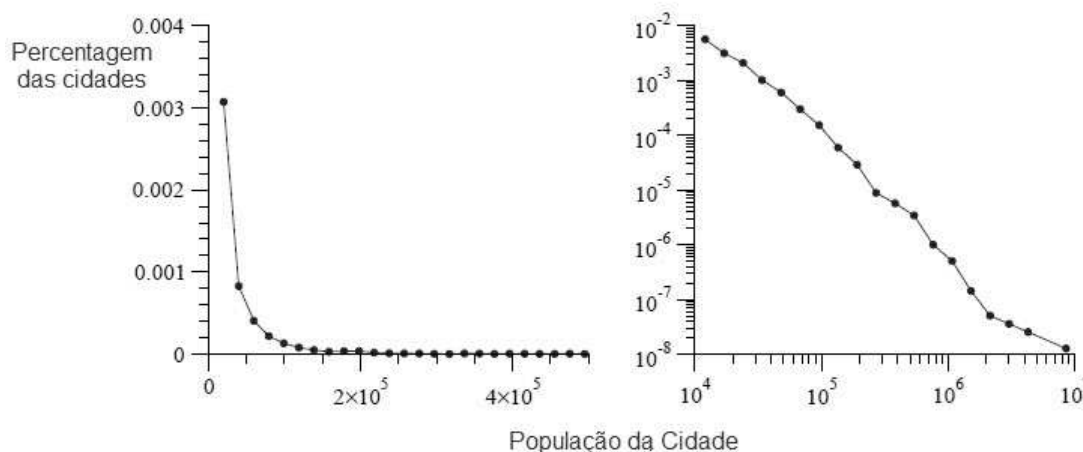


Figura 26: Esquerda - Histograma das cidades dos EUA com mais de 10000 habitantes Direita: A mesma informação traçada em uma escala logaritmica (Neste caso é possível observar uma linha aproximadamente reta que é uma característica da formação de leis de potência Fonte: Newman (2005)

de qualquer recurso correspondesse por 70-80 por cento da atividade relacionada àqueles recursos (KOCH, 2000).

Atualmente, a lei de potência tem sido bastante discutida devido ao “efeito cauda longa”. A Cauda Longa é um fenômeno observado em empresas de Internet que conseguem faturar com produtos de nicho tanto quanto, ou até mais que os tradicionais arrasa-quarteirão. Isso se tornou viável com o advento da Internet já que a inexistência de limitação do espaço físico para exibição de produtos faz com que os mercados de nicho sejam explorados da mesma forma que o mercado de massas. A cauda longa constitui-se na parte inferior da curva da lei de potência (ANDERSON, 2006).

Albert e Barabási (1999) foram os primeiros a demonstrar que a *Web* apresenta uma distribuição que se aproxima de uma lei de potência. Esta rede é tão fortemente dominada pelo nós altamente conectados que influenciam o comportamento da rede como um todo. É interessante como uma descoberta tão importante e baseada em princípios tão simples foi realizada há apenas uma década.

Redes Livres de Escala

Por mais de 40 anos a ciência lidou com todas as redes complexas como se elas fossem completamente aleatórias e uniformes. Neste paradigma randômico, mesmo com a distribuição aleatória de ligações entre os nós, o resultado final seria altamente democrático: a

maioria dos nós teria aproximadamente o mesmo número de ligações.

Uma das descobertas mais importantes, feita recentemente, no estudo das redes complexas foi a descoberta que a estrutura, em diversas redes encontradas na natureza, são redes livres de escala. Em uma rede livre de escala, alguns nós se encontram altamente conectados, ou seja, possuem um grande número de ligações com outros nós, enquanto o grau de conexão de quase todos os outros nós é bastante baixo. Isso implica que certos nós possuem uma quantidade enorme de conexões com outros nós, enquanto a maioria dos nós tem poucas conexões. Os nós mais visitados, denominados pólos de irradiação e convergência, podem ter centenas, milhares ou mesmo milhões de ligações. Nesse sentido, a rede parece não ter uma escala. Estas redes são denominadas livres de escala, pois mostram uma distribuição heterogênea dos graus dos nós, ou seja, não apresentam um grau médio típico.

Uma rede livre de escala pode ser definida como uma rede que segue uma distribuição em forma de lei de potência, pelo menos, assintoticamente⁸. Uma propriedade curiosa das redes livre de escala é que, do ponto de vista de manter a sua funcionalidade, são muito robustas em relação à remoção aleatória de alguns dos seus nós ou ligações. Pesquisas indicam que redes livres de escala, como a Internet, são bem resistentes a falhas aleatórias (GUILLAUME; LATAPY; MAGNIEN, 2005). Os cientistas chegaram, em simulação, a retirar 80% das ligações e as 20% restantes permaneceram conectadas. Por outro lado estas redes são extremamente frágeis ao ataque direto aos seus principais *hubs*. O entendimento das propriedades de tais redes nos leva ao entendimento que estas redes são altamente resistentes a falhas acidentais e muito vulneráveis a ataques intencionais e a sabotagem.

Nos últimos anos, os pesquisadores têm descoberto que inúmeras redes apresentam estas características de serem livres de escala:

- ambientes hipermídia, tais como a World Wide Web;
- a Internet;
- redes biológicas, tais como redes de interações entre proteínas no corpo humano e as redes neurais biológicas;
- redes sociais;

⁸Assintoticamente na Matemática indica que a curva que aproxima-se de um determinado limite, porém sem jamais atingi-lo.

- redes de citações científicas;
- rede de relacionamento sexuais entre pessoas.

As redes livres de escala permitem compreender o funcionamento das redes que possuem um crescimento dinâmico como a Internet (FALOUTSOS; FALOUTSOS; FALOUTSOS, 1999). Estas são redes que crescem a partir de pouco nós, e irão resultar em redes maiores com o acréscimo e a supressão de nós na rede. Este crescimento será apresentado na próxima seção.

As redes livres de escala são *extremamente* não-aleatórias. Esta descoberta deu início a um grande número de publicações em uma vasta quantidade de disciplinas passando pela Física, Biologia, Ciência Política, Administração, Biologia, Computação, Ciência da Informação, dentre outras. O principal questionamento era: porque tantos fenômenos naturais obedecem a uma lei de potência em vez de uma distribuição normal ?

Resgatando a história, é possível afirmar que a primeira rede com distribuição livre de escala foi apresentada por Price (1965) analisando as citações entre artigos científicos. Desde então as redes livre de escala têm sido descritas em várias áreas da biologia, relações humanas, física, matemática, dentre outras, e aparece em diversas situações do nosso cotidiano.

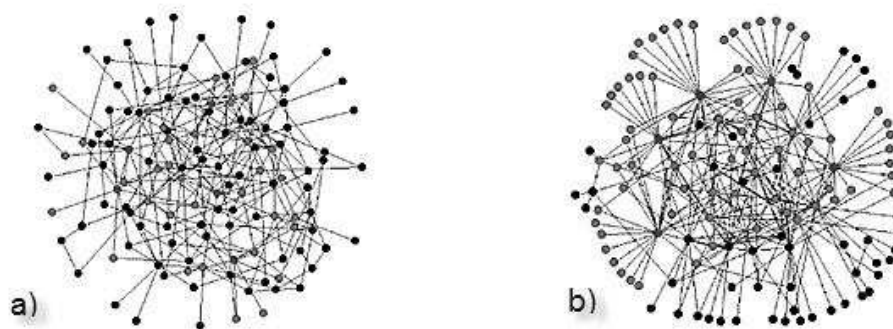


Figura 27: (a) Rede Aleatória (b) Rede livre de escala Fonte: (ALBERT; JEONG; BARABASI, 2000).

Crescimento das Redes Livres de Escala

Anteriormente, foi visto que as redes do mundo real usualmente são redes livre de escala. Caso fosse utilizado um modelo randômico para as redes, haveria a expectativa

de uma distribuição em forma de sino⁹ pois a premissa básica ao adotarmos o modelo aleatório seria que as ligações aos nós seriam feitas de forma independente um dos outros. Na construção da rede, os nós teriam a mesma probabilidade de atrair ligações, não importando se estes nós possuam milhões ou apenas poucas ligações anteriormente. Neste caso todos os nós teriam as mesmas chances de atrair novas conexões.

As redes do mundo real parecem não se comportar desta maneira tão justa. Os nós que possuem mais conexões tendem a atrair mais ligações que os nós menos conectados. Este fenômeno é chamado de “Rico fica mais rico” ou também é popularmente chamado de “Efeito Mateus”.

O famoso efeito Mateus deve o seu nome a célebre parábola bíblica do senhor que chamou os seu servos, dando a um 5 talentos, a outro 2 e ao terceiro 1 talento e recomendando que os fizessem frutificar.

O que recebeu 5, trabalhou e conseguiu outros 5. O que recebeu 2 agiu do mesmo modo e conseguiu 4. O que recebeu 1, com medo que o roubassem foi escondê-lo debaixo da terra.

O senhor regressou, chamou os servos e pediu-lhes contas pelos talentos dados. O que tinha recebido 5 apresentou 10; o que tinha recebido 2 apresentou 4; o que recebera 1 apresentou-o e devolveu-o.

E então o senhor louvou os que tinham duplicado os talentos. E pegou no talento que tinha estado enterrado e ordenou:

“Tirai-lhe o talento e dai-o ao que tem dez. Porque, a todo aquele que tem, será dado mais, e terá em abundância. Mas ao que não tem, até o que tem lhe será tirado”(Mateus, 25, 28-29)(BÍBLIA, 1999).

Este efeito já é bastante conhecido na área da Ciência da Informação, principalmente na área da Bibliometria. Trata-se de uma referência ao efeito Mateus por meio da análise de processos psicossociais, que afetam o sistema de avaliação e distribuição de recompensas científicas. Por exemplo: cientistas com alta produtividade, de universidades mais conceituadas, obtêm freqüentemente mais reconhecimento que cientistas igualmente produtivos, de outras universidades (MERTON, 1968).

Barabási e Albert (1999) foram os primeiros a fazerem a proposição que o efeito “Rico fica mais rico” direcionava o crescimento das redes do mundo real. Mais especificamente,

⁹Conforme o Teorema do Limite Central, a soma das variáveis aleatórias com distribuições uniformes tenderá a uma distribuição Gaussiana.

se um nó tem duas vezes mais ligações que outro ele teria o dobro de chances de atrair novas ligações (WATTS, 2003). A este fenômeno Barabási e Albert (1999) chamaram de “acoplamento preferencial” (*preferential attachment*). Barabási e Albert (1999) explicavam o crescimento das redes por meio de duas leis simples (BARABÁSI, 2003).

O que foi visto até agora não explicaria como nós retardatários conseguimos algumas vezes atrair mais ligações que nós que estavam anteriormente no sistema e muitas vezes se converterem em grandes *hubs* que dominam a rede. Se dependesse apenas das duas propriedades observadas acima, sempre os pioneiros e os nós que chegassem antes levariam vantagem e teriam mais ligações que os nós que chegassem depois. Bianconi e Barabási (2001) introduziram o conceito de aptidão (*fitness*) do nó. Aptidão de um nó é uma medida quantitativa que mede a habilidade de um nó em ficar a frente de seus competidores. Nós que chegam posteriormente ao sistema mas que possuem uma aptidão superior aos demais podem acabar atraindo mais ligações que outros nós que chegaram anteriormente. A seguir, serão apresentados um resumo destes 3 parâmetros que procuram explicar o comportamento de uma rede livre de escala.

1. *Crescimento*: Em um período de tempo é adicionado um nó de cada vez na rede.
2. *Acoplamento Preferencial*: A probabilidade de um novo nó adicionado se conectar a outro já existente é diretamente proporcional ao número de ligações que o nó escolhido tenha anteriormente.
3. *Aptidão*: Medida quantitativa que especifica a habilidade de um nó em atrair ligações comparado aos seus concorrentes.

Aninhamento (*Nestedness*)

De uma certa maneira, pode-se dizer que muitas redes são como bonecas russas. Uma se situa dentro da outra. Muitas das redes podem ser pensadas como elementos estruturantes de outra rede de ordem superior, chamada de rede superior (*top network*). De forma similar esta rede de ordem superior se constitui uma rede completa, com estrutura complexa (CSERMELY, 2006). As redes que são elementos da rede de ordem inferior são chamadas de redes inferiores (*bottom networks*). Na Tabela 2 é possível compreender melhor este conceito.

As redes inferiores estão aninhadas em redes superiores. Csermely (2006) afirma que o aninhamento consiste em uma idéia antiga no mundo das redes, desde a década de 1950

Tabela 2: Exemplos de Redes Aninhadas

Rede Superior	Elementos da Rede Superior	Rede Inferior	Elementos da Rede Inferior
Economia Mundial	Países	Rede Social	Pessoas
Rede Social	Pessoas	Rede Celular	Células
Rede Celular	Células	Redes de Proteínas	Proteínas
Rede de Proteínas	Proteínas	Rede atômica	Átomos

Fonte: (CSERMELY, 2006)

Bertalanffy enfatizava a hierarquia de sistemas e James (1954) apontava a existência de vários níveis de complexidade na natureza. A palavra aninhamento (*nestedness*) é um termo que foi usado inicialmente na área da ecologia e depois seu uso foi expandido às outras ciências.

3.3.3.5 A Ciência da Informação

Solla Price - Redescobrimo o pioneiro da moderna Ciência das Redes

Na mesma época que Milgram criava a sua teoria do mundo pequeno, um pesquisador estava sendo pioneiro na “Ciência das Redes” em outra área do conhecimento, a Ciência da Informação.

Derek John de Solla Price (1922-1983) foi um cientista da informação e um historiador da ciência considerado o pai da Cientometria.

Segundo Santos (2003), a Cientometria constitui-se em um método baseado em técnicas estatísticas, que tem como objetivo identificar e tratar as informações contidas nas publicações científicas e técnicas, disponíveis nos sistemas de informação. Entre os temas estudados pela Ciência da Informação está a produção científica, produto da comunicação científica, que possibilita a análise do nível de desenvolvimento de uma determinada área do conhecimento humano. Para atingir este objetivo utiliza às disciplinas métricas (do grego *metron*), entre elas a Bibliometria e, mais recentemente, a Cientometria e a Informetria. Por meio dessas análises, é possível mapear o desenvolvimento da ciência, conhecer as relações entre pesquisadores, identificar núcleos de publicação de uma área, bem como a frente de pesquisa de um determinado campo (MACHADO, 2007).

Solla Price descreveu em 1965 provavelmente o primeiro exemplo do que seria posteriormente chamado de rede livre de escala. Ele estava estudando uma rede de citações entre artigos científicos e observou que os números de vezes em que um artigo é citado e

o número de artigos que um artigo cita têm uma distribuição em forma de lei de potência (PRICE, 1965). Segundo Newman (2003), aparentemente intrigado com o aparecimento destas leis de potência, ele publicou outro artigo intitulado *A General Theory of Bibliometric and Other Cumulative Advantage Processes* (PRICE, 1976), no qual ele oferece uma explicação para essas leis de potência. Solla Price foi talvez o primeiro a discutir especificamente a vantagem cumulativa no contexto das redes. A sua idéia era que a taxa com que um artigo inicia a receber novas citações deve ser proporcional ao número das que já tem. Isto é fácil de justificar de uma maneira qualitativa. O mesmo argumento pode também ser aplicado a outras redes. As idéias de Price foram baseadas nos trabalhos desenvolvidos nos anos 50 pelo polímata Herbert Simon (1916-2001).

Herbert Simon foi um pesquisador nas áreas da Psicologia Cognitiva, Informática, Administração Pública, Sociologia Econômica, e Filosofia. Simon (1955) foi um pioneiro ao explicar a ocorrência da distribuição livre de escala estudando a distribuição riqueza. Simon demonstrou que o fenômeno das leis de potência aparecem quando o fenômeno “Rico fica mais rico” também conhecido como “Efeito Mateus” ocorrem (estes fenômenos foram explicados na seção anterior). Price chamou esta característica de crescimento das redes de *Vantagem Cumulativa (cumulative advantage)*. Cerca de 23 anos depois, Barabási e Albert (1999) apresentaram este fenômeno chamando de *Acoplamento Preferencial (preferential attachment)*.

A grande contribuição do trabalho de Price foi aproveitar as idéias de Simon aplicando-as no contexto do crescimento de redes. Segundo Newman (2003), Price parece ter sido o pioneiro em discutir a vantagem cumulativa no contexto das redes, mas especificamente no contexto das redes de citações entre artigos científicos. De acordo com suas idéias, a taxa em que um artigo científico recebe novas citações deve ser proporcional ao número de citações que ele já possui.

Na final da década de 90, as idéias de Solla Price, foram redescobertas (aparentemente de forma independente), e publicadas com grande estardalhaço, agora afirmando que a distribuição das redes em geral seguia uma lei de potência e que existia um “acoplamento preferencial”. Conceitos que mais de 20 anos antes já haviam sido observados por este “ícone” da Ciência da Informação.

Em 1984, Price recebeu postumamente o prêmio de pesquisa da Sociedade Americana para Ciência da Informação e Tecnologia pelas suas extraordinárias contribuições no campo da Ciência da Informação. Para mais informações consultar Cavalcante e Lima-Marques (2008).

3.4 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foi possível traçar uma breve história das redes. É importante observar que apesar de ser uma área de pesquisa com alguns séculos de existência, somente nos últimos anos houve uma aceleração na produção científica com descobertas significativas.

Nos próximos capítulos serão desenvolvidos investigações visando contribuir com o avanço da Ciência das Redes.

4 *Níveis de Abstração*

Do rigor na ciência:

“...Naquele Império, a Arte da Cartografia atingiu uma tal Perfeição que o Mapa duma só Província ocupava toda uma Cidade, e o Mapa do Império, toda uma Província. Com o tempo, esses Mapas Desmedidos não satisfizeram e os Colégios de Cartógrafos levantaram um Mapa do Império que tinha o Tamanho do Império e coincidia ponto por ponto com ele. Menos Apegadas ao Estudo da Cartografia, as Gerações Seguintes entenderam que esse extenso Mapa era Inútil e não sem Impiedade o entregaram às Inclemências do Sol e dos Invernos. Nos Desertos do Oeste subsistem despedaçadas Ruínas do Mapa, habitadas por Animais e por Mendigos. Em todo País não resta outra relíquia das Disciplinas Geográficas.(Suárez Miranda: Viagens de Varões Prudentes, livro quarto, cap. XIV, 1658.)”

Jorge Luis Borges (BORGES, 1989)

ESTE capítulo abordará níveis de abstração. As redes interagem umas com as outras e apresentam um comportamento recursivo. Redes sociais são construídas sobre redes informacionais que são construídas sobre redes de comunicação que por sua vez são construídas sobre redes físicas. Isto por sua vez reflete o público heterogêneo que realiza pesquisas na área de redes de computadores: sociólogos, físicos, economistas, biólogos, cientistas da computação, profissionais da informação, dentre outros (NRC, 2005).

O início será pelo conceito de “abstração”. Inicialmente o *Dicionário Aurélio da Língua portuguesa* (FERREIRA, 1993) define abstração como “o ato de separar mentalmente um ou mais elementos de uma totalidade complexa (coisa, representação, fato), os quais só mentalmente podem subsistir fora dessa totalidade.”. Para uma definição mais precisa do termo pode-se recorrer a Abbagnano (2007):

“A abstração é a operação mediante a qual alguma coisa é escolhida como objeto de percepção, atenção, observação, consideração, pesquisa, estudo, etc, e isolada de outras coisas com que está em uma relação qualquer. A abstração tem dois aspectos: 1) a de isolar a coisa previamente escolhida das demais com que está relacionada (o abstrair de); 2) assumir como objeto específico de consideração o que foi assim isolado (Abstração seletiva ou pré-cisão)..(ABBAGNANO, 2007, p.4-6)”

Abbagnano (2007) continua sua explanação afirmando que esses conceitos, ou conceitos afins se repetem em toda a escolástica, citando como exemplo a lógica de Port-Royal que afirmava que as limitações da nossa mente nos impedem de compreender as coisas compostas senão considerando as suas partes e contemplando as faces diversas com que elas nos apresentam.

4.1 Arquitetura em Camadas

O conceito de abstração que será utilizado está mais próximo da Ciência da Computação. Nesta ciência, abstração é um mecanismo para reduzir e fatorar os detalhes para que seja possível o foco de poucos conceitos por vez. Kramer (2007) escreveu um excelente artigo mostrando a importância da abstração na Ciência da Computação.

Um caso particular de abstração é o de níveis (ou camadas) de abstração. Segundo Floridi e Sanders (2004), cada nível representa um modelo diferente de mesma informação e processos, mas utiliza um sistema de expressão envolvendo um único conjunto de objetos e composições que são aplicáveis a um domínio particular. Cada camada de um nível “superior” é construído sobre uma camada “inferior” que presta um determinado serviço.

John Day nos apresenta no seu livro *Patterns in Network Architecture - A return to Fundamentals* (DAY, 2008) nos apresenta uma grandiosa lição sobre a arquiteturas de redes de computadores. Apesar das redes de computadores serem uma sub-área específica das Redes. Muito do que foi aprendido nesta disciplina pode ser generalizado para outros tipos de redes.

Day (2008) nos mostra níveis de abstração como uma ferramenta importante para gerenciar a complexidade de uma arquitetura ou de um sistema. Nas redes de computadores o uso de camadas é de fundamental importância para compreendermos a complexa tarefa de transmissão de dados. Kurose, Ross e Zucchi (2006) nos auxilia a entender este processo:

“Antes de tentarmos organizar nosso raciocínio sobre a arquitetura da Internet, vamos procurar uma analogia humana. Na verdade, lidamos com sistemas complexos o tempo todo em nosso dia-a-dia. Imagine se alguém pedisse que você descrevesse, por exemplo, o sistema de uma companhia aérea. Como você encontraria a estrutura para descrever esse sistema complexo que tem agências de emissão de passagens, pessoal para embarcar a bagagem para ficar no portão de embarque, pilotos, aviões, controle de tráfego aéreo e um sistema mundial de roteamento de aeronaves? Um modo de descrever esse sistema poderia ser apresentar a

relação de uma série de ações que você realiza (ou que outros realizam para você) quando voa por uma empresa aérea. Você compra a passagem, despacha suas malas, dirige-se ao portão de embarque e, finalmente, entra no avião, que decola e segue uma rota até seu destino. Após a aterrissagem, você desembarca no portão designado e recupera suas malas. Se a viagem foi ruim, você reclama na agência que lhe vendeu a passagem (esforço em vão)(KUROSE; ROSS; ZUCCHI, 2006).”

Na Figura 28 é possível observar esta analogia.



Figura 28: Ações em uma viagem de avião. Fonte: (KUROSE; ROSS; ZUCCHI, 2006)

Kurose, Ross e Zucchi (2006) continua a sua explicação na Figura 29, apresentando uma estrutura no qual a viagem aérea pode ser discutida. Cada camada, combinada com as camadas abaixo dela implementam uma funcionalidade, um serviço. Como exemplo, no nível de bagagem e abaixo dela, é realizada a transferência “despacho-de-bagagem-recuperação-de-bagagem” de um passageiro e de suas malas.

Uma das vantagens de uma arquitetura em camadas é nos permitir analisar sobre uma parte bem delimitada de um sistema complexo. Outra grande vantagem desta arquitetura é a modularidade fazendo com que fique muito mais fácil modificar a implementação de um serviço prestado pela camada, contanto que a camada forneça o mesmo serviço para a camada superior e use os mesmos serviços da camada inferior.

Para a comunicação de dados em uma rede de computadores os projetistas da rede dividem a rede em camadas e utilizam protocolos para cada uma das camadas da rede. Estes protocolos podem ser implementados por Hardware e Software na rede.

Quando as redes de computadores surgiram, as soluções eram, na grande parte das

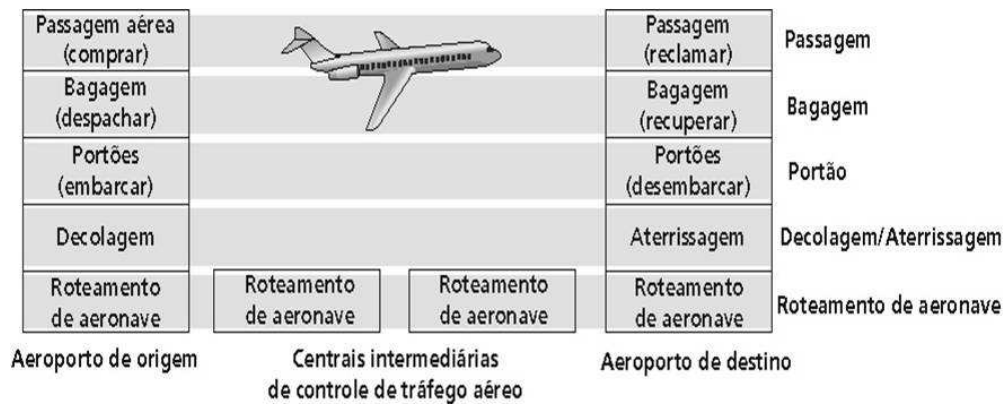


Figura 29: Exemplo de uma arquitetura em camadas. Fonte: (KUROSE; ROSS; ZUCCHI, 2006)

vezes, proprietárias, isto é uma determinada tecnologia só era suportada por seu fabricante. Não havia a possibilidade de se misturar soluções de fabricantes diferentes. Dessa forma um mesmo fabricante era responsável por construir praticamente tudo na rede.

Para facilitar a interconexão de sistemas de computadores a ISO (International Standards Organization) desenvolveu um modelo de referência chamado OSI (Open Systems Interconnection), para que os fabricantes pudessem criar protocolos a partir desse modelo. Na Figura 30 é possível observar a arquitetura ISO/OSI (TANENBAUM, 2003).

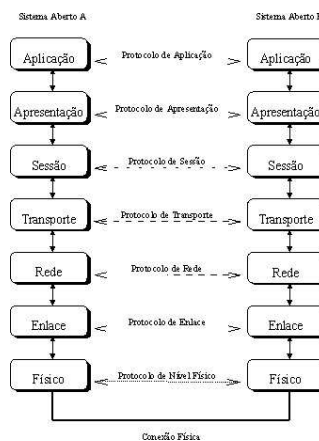


Figura 30: Arquitetura ISO/OSI.

A estrutura de comunicação em uma rede de computadores é bastante complexa. O uso de níveis de abstração possibilita um melhor entendimento desta estrutura.

4.2 Conclusão

Esta maneira de enfrentar o problema da complexidade em uma rede de computadores é uma característica inerente à Ciência da Computação. Pensa-se que esta maneira de olhar para uma rede pode ser exportada da Ciência da Computação e poderá se mostrar um instrumento útil para as redes de uma maneira geral.

Trabalhar com níveis de abstração possibilita uma modularização e simplifica o entendimento de problema com alto grau de complexidade.

5 *Pensamento Complexo*

“O único esforço científico sério é aquele que respeita a realidade: se esta é complexa, apresentá-la de maneira simples é pura traição.”

Albert Jacquard

NOS últimos séculos, a humanidade promoveu um desenvolvimento científico e tecnológico espetacular. Durante o século XX foi possível observar o rápido desenvolvimento da tecnologia da informação e um incrível aumento na expectativa de vida da humanidade. Esse grandioso progresso foi responsável pela solução de muitos de nossos antigos problemas, mas trouxe uma infinidade de outros, igualmente ou mais graves que os anteriores. Um grande número destes problemas está relacionada à nossa forma tradicional de pensar o mundo - chamado de pensamento linear-cartesiano. Neste tipo de pensamento o todo é dividido em partes a serem estudadas separadamente, buscando-se uma síntese posterior.

É necessária uma grande reforma do modo de pensamento que hoje é dominante em nossa cultura. Existe um grande número de proponentes e de diversificadas propostas. O trabalho de Edgar Morin está entre os pontos altos desse empreendimento. Em particular, destaca-se a sua mais importante concepção epistemológica, **o pensamento complexo**. Nele não predomina o raciocínio fragmentador (o modelo mental binário do “ou/ou”: ou amigo ou inimigo; ou bem ou mal; ou certo ou errado; ou ocidente ou oriente; dentre outros.). Tampouco prevalece o utopismo da primazia do todo - o sistemismo reducionista (MARIOTTI, 2002).

Morin (1999) faz um resgate etimológico. Recorre ao Latim *complexus*, que simplesmente quer dizer: aquilo que foi tecido em conjunto. É necessária a explicação da etimologia desta palavra, porque quando cita-se a palavra complexo, automaticamente pensa-se neste termo em oposição a algo simples. Complexidade não é complicação. Para explicar melhor esta situação, Morin costuma usar uma metáfora: Imagine dois novos

de lã iguais. Um deles é dado a um gato. O outro é entregue a uma pessoa que saiba tricotar. Depois de alguns instantes, é possível observar que o novelo dado ao gato se transformou em um emaranhado caótico e desordenado. O que foi entregue a pessoa que sabe tricotar se transformou em uma malha, isto é, em uma estrutura ordenada. O novelo do gato se transformou em complicação. O da pessoa que faz tricô transformou-se em complexidade pois a complexidade significa, como afirmado anteriormente, aquilo que é tecido junto, conforme apresentado na Figura 31.

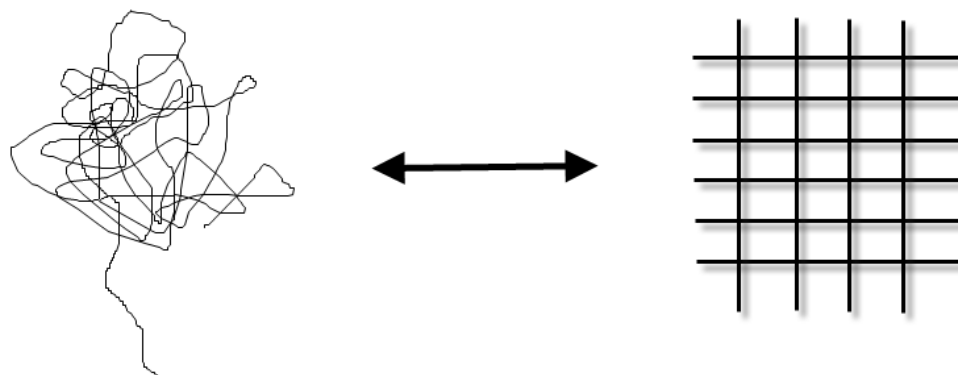


Figura 31: *Complexus* = O que está tecido junto. Fonte: (MARIOTTI, 2007)

Para compreender melhor a definição de complexidade serão reproduzidas as palavras de Morin:

“À primeira vista, a complexidade é um tecido (*complexus*: o que é tecido em conjunto) de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados: coloca o paradoxo do uno e do múltiplo. Num segundo momento, a complexidade é efetivamente o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos, que constituem o nosso mundo fenomênico. Mas então a complexidade apresenta-se com os traços inquietantes do emaranhado, do inextricável, da desordem, da ambiguidade, da incerteza... Por isso, o conhecimento necessita ordenar os fenômenos rechaçando a desordem, afastar o incerto, isto é, selecionar os elementos de ordem e da certeza, precisar, clarificar, distinguir, hierarquizar... Mas tais operações, necessárias à inteligibilidade, correm o risco de provocar a cegueira, se elas eliminam os outros aspectos do *complexus*; e efetivamente, como eu o indiquei, elas nos deixaram cegos (MORIN, 2007).”

A complexidade não inclui nenhuma idéia de conteúdo positivo em si, sendo algo

compreensível, mas, impossível de ser submetido a qualquer experimentação positivista. “A complexidade não é tudo, não é a totalidade do real, mas é o que melhor pode, ao mesmo tempo, se abrir ao inteligível e revelar o inexplicável” (MORIN, 2000b, p.266).

O paradigma da simplificação, empregado na ciência clássica, se caracteriza pelo princípio da generalização, da abstração, da redução e da separação. Este paradigma produziu e produz uma concepção simplificadora do universo nas suas dimensões físicas, biológica e antropológica. Por isso a simplificação é caracterizada por princípios de generalidade, redutividade e de separabilidade.

“O pensamento simplificador tornou-se a barbárie da ciência. É a barbárie específica de nossa civilização. É a barbárie que hoje se alia a todas as formas históricas e mitológicas de barbarie”(MORIN, 1997, p. 352-353).

Para Morin, a complexidade ainda necessita de muita explicação e de muitos avanços, “porque a palavra complexidade não possui uma nobre herança filosófica, científica ou epistemológica” e carrega “uma pesada carga semântica, porque transporta em seu seio confusão, incerteza e desordem”(MORIN, 2007, p. 5-6).

A partir da concepção de que a realidade é de natureza complexa, Morin procura identificar, qualificar e quantificar quais são os princípios que constituem a estrutura da realidade complexa e que, portanto, caracterizam esta complexidade.

“O trabalho que realizei chamado de “O Método” objetiva enfrentar esse desafio cognitivo, elaborar e encontrar operadores – instrumentos de conhecimento, que não foram inventados, mas, em alguns aspectos, foram desenvolvidos e sobretudo reagrupados por mim” (CASTRO; CARVALHO; ALMEIDA, 1997a, p. 17).

5.1 Operadores do Pensamento Complexo

CASTRO, CARVALHO e ALMEIDA (1997b) apresentam princípios reitores, indissociáveis, e que comandam a noção de complexidade na obra de Edgar Morin, estes princípios são chamados de operadores do pensamento complexo. Estes operadores foram construídos ao longo do tempo por autores oriundos de várias áreas do conhecimento. A idéia de apresentá-los e utilizá-los em conjunto como instrumentos cognitivos se deve a Edgar Morin e está presente em vários de seus textos.

É importante destacar que Edgard Morin, às vezes, utiliza essas palavras: princípio, operador, baseado no sentido de que são operadores, ou seja, aquilo que faz movimentar o pensamento.

Os operadores têm sido apresentados de diversas formas por diversos autores. As que serão apresentadas a seguir são o resultado de trabalho de compilação, interpretação, adaptação e complementação das idéias de Morin. Estes operadores não podem ser empregados isolados uns dos outros. Outro erro freqüente, é o de imaginar que um deles seja mais ou menos eficaz. Ao contrário, todos estão interligados e atuam de modo sinérgico, embora em determinadas circunstâncias seja preferível utilizar um ou outro. Estes operadores são concomitantes, complementares, antagônicos e interligados entre si.

Em seguida, serão apresentados cada um dos operadores do pensamento individualmente:

1) **Operador Dialógico** (não confundir com dialético) - Dialogia significa juntar coisas, entrelaçar coisas que aparentemente estão separadas. Por exemplo: razão e emoção, sensível e inteligível, real e imaginário, razão e mitos, ciência e arte, ciências humanas e sociais, etc (CARVALHO, 2006). Neste pensamento não existe a idéia de síntese como ocorre com a dialética. Para facilitar a compreensão será explicitada melhor a diferença entre dialógica e dialética (MARIOTTI, 2007).

O termo “dialética” significa conversação, diálogo entre posições contrárias. Em Hegel, a dialética é o movimento racional que nos permite superar uma contradição (FERRATER MORA, 1969). Para Hegel, toda idéia é uma tese, que provoca o surgimento de outra que lhe é oposta - uma antítese. Do embate entre as duas surge a síntese, que é a resolução da contradição. A síntese é o resultado da superação da tensão entre os opostos tese e antítese.

Na dialógica não é possível chegar a resolução, pois as características dos opostos tornam o confronto inegociável, e por isso é necessária a convivência dos opostos em um diálogo sem fim. Morin (2002, pg. 281) define assim a dialógica:

“Unidade complexa entre duas lógicas, entidades ou instâncias complementares, concorrentes e antagonistas, que se nutrem uma da outra, completam-se, mas também se opõem e se combatem.[...] Na dialógica, os antagonismos persistem e são constitutivos das entidades ou fenômenos complexos.”

São encontrados na história da Filosofia ocidental e oriental diversos elementos e premissas de um pensamento da complexidade. Desde a Antigüidade, o pensamento chinês

funda-se sobre a relação dialógica (complementar e antagônica) entre o yin e o yang e, segundo Lao Tsé, a união dos contrários caracteriza a realidade, conforme observa-se na Figura 32.

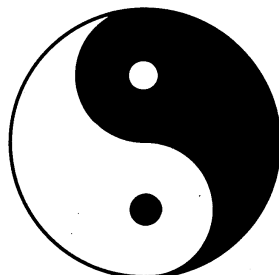


Figura 32: Princípio dialógico do Yin e Yang. Yin Yang é na Filosofia Chinesa uma representação do princípio dialógico do Yin e Yang, o conceito tem sua origem no Tao (ou Dao), base da Filosofia e metafísica da cultura daquele país. Em chinês este conhecido símbolo que representa a integração de Yin e Yang é denominado como “Diagrama do Tai Chi” (Taiji Tu). Fonte: (BRITANNICA, 2007)

A dialógica dos antagonismos ou a idéia dos contrários está baseada em princípios anteriormente formulados por Heráclito, Pascal, Hegel, Marx e Niels Böhr e tem a intenção de integrar os pontos de vistas diferentes e, muitas vezes, antagônicos como, por exemplo, sabedoria e loucura, razão e misticismo. Muitas oposições clássicas não são contempladas no mundo atual como exemplo cita-se a separação sempre enfatizada entre a cultura humanística e a cultura científica.

É interessante observar que já é possível observar-se exemplos do pensamento dialógicos em diversos autores. No início do século XX, a teoria analítica de Carl Gustav Jung nos apresenta alguns exemplos. Para Jung existe um entrelaçamento entre forças antagônicas conhecidas como consciente e inconsciente. Desta confrontação, ocorre uma transformação. Jung faz uma analogia comparando o homem ao ferro que, em contato com o martelo e a bigorna é forjado. Os conflitos que vivemos originam de duas pulsões opostas, como por exemplo um desejo e um dever, dois deveres fundamentais, etc. Estes opostos quando colocados frente a frente, geram uma tensão. Desta tensão surge uma energia que coloca em movimento as necessidades humanas.

Quanto maior a tensão entre opostos, maior será a energia liberada. Se não tem oposição, não se tem manifestação energética e, conseqüentemente, não existe movimento. Os opostos também têm uma função reguladora: quando eles se manifestam até o seu extremo, tendem a se transformar no outro (MEDNICOFF, 2008).

2) **Operador da recursividade**¹: fundamenta a idéia de que a causalidade é ne-

¹Também chamado como *círculo* por Morin na obra *A inteligência da complexidade* (MORIN; MOIGNE,

cessariamente recursiva, de modo que uma causa produz um efeito, que se torna causa novamente, e assim sucessivamente. Este operador “em que todo momento é ao mesmo tempo, produto e produtor, que causa e que é causado, e em que o produto é produto do que produz, o efeito causador do que o causa” (MORIN, 2000b).

A recursividade está ligada a duas idéias fundamentais. A primeira delas é a cibernética, desenvolvida por Norbert Wiener. A segunda é a teoria dos sistemas, introduzida por Ludwig von Bertalanffy. Segundo o pensamento tradicional linear-binário, a relação causa-efeito se resume a dois momentos: princípio e fim. Esse modo de pensar expressa, por exemplo, um dos fundamentos da medicina mecanicista: eliminando-se a causa, suprime-se o efeito. Esta concepção funciona mais ou menos bem em certos casos, em especial na eliminação de sintomas. Mas está longe de poder ser generalizada, pois a maioria das doenças não pode ser compreendida nem muito menos tratada com base no conceito de causalidade única. Além disso, como se sabe, o tratamento sintomático é importante, mas na maioria das vezes não resolve o problema (MARIOTTI, 2007).

Não existe fenômeno de causa única no mundo natural nem no cultural. Onde existir seres vivos as relações serão sempre circulares. Por mais que aparentem lineares², elas são não-lineares: os efeitos retroagem sobre as causas e as realimentam. Desta maneira os desvios são consertados, o que faz com que os ciclos se mantenham em funcionamento e os sistemas se conservem vivos. Esta mesma idéia é aplicada a sistemas não-vivos. Esse mecanismo Wiener denominou de *feedback* (retro-alimentação). A disciplina criada com esse conceito foi chamada de cibernética, que pode ser definida como a ciência que estuda os sistemas de controle. Aqui a palavra “controle”³ deve ser entendida no sentido de “manutenção de um rumo” (MARIOTTI, 2007).

Na Figura 33 pode-se ver um exemplo visual da recursividade.

3) **Operador Hologramático**⁴: onde cada unidade, ponto ou célula, contém quase a totalidade da informação do objeto o qual ele representa. Como o organismo é global, a

2000) e por *circuito* na obra *A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento* (MORIN, 2000a)

²No contexto da Teoria Geral dos Sistemas

³Existe uma ramo interdisciplinar da engenharia e da matemática chamada Teoria do Controle, para mais informações verificar Dorf e Bishop (2005) e Ogata (2009).

⁴A origem do termo holografia vem do grego *holos*: todo, inteiro; e *graphos*: sinal, escrita, pois é um método de registro “integral” com profundidade e relevo. Uma característica peculiar dos hologramas é cada parte deles possui a informação do todo. Desta maneira, um pequeno pedaço de um holograma terá informações sobre toda a imagem do mesmo holograma completo, esta imagem será vista na íntegra, mas a partir de um ângulo estreito. A comparação pode ser feita com uma janela, se a cobrirmos deixando um pequeno buraco na cobertura permitiremos a um espectador continuar enxergando a paisagem do outro lado, de um ângulo muito restrito mas ele ainda verá toda a paisagem pelo buraco (OUTWATER; HAMERSVELD, 2004). Um exemplo de holografia pode ser visto na Figura 34.

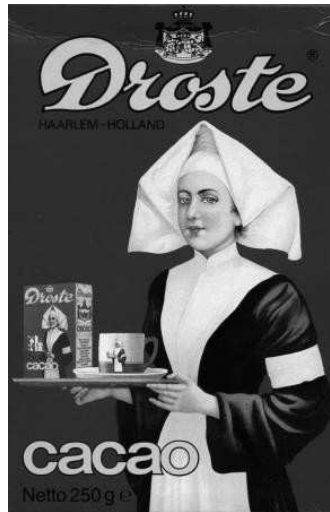


Figura 33: Uma forma visual de recursividade conhecida como efeito *Droste*. Este efeito pode ser criado, por exemplo, ao colocarmos dois espelhos frente a frente. Fonte: (SMIT; LEIDEN, 2005)

parte está no todo e o todo está inscrito na parte (MARTINAZZO, 2002). Liga o conhecimento das partes ao conhecimento do todo, conforme a ponte indicada por Pascal: “Tenho por impossível conhecer o todo sem conhecer as partes, e conhecer as partes sem conhecer o todo”. Goethe dizia: “os homens trazem dentro de si não apenas a sua individualidade mas a humanidade inteira, com todas as suas possibilidades.”



Figura 34: Exemplo de uma figura holográfica. Fonte: (DEFREITAS, 2008)

Esta impossibilidade de separação da parte e do todo pode ser ilustrado por um clássico texto de Ortega y Gasset fazendo referência a um famoso adágio alemão:

“¿Con cuantos árboles se hace una selva? ¿Con cuantas casas una ciudad?
Según cantaba el ciego de Poitiers,

*La hauteur des maisons
Empêche de voir la ville,*

Y el adagio germánico afirma que los árboles no dejan ver el bosque. Selva y ciudad son dos cosas esencialmente profundas, y la profundidad está condenada de una manera fatal a convertirse en superficie si quiere manifestarse.

Tengo yo ahora en torno mío hasta dos docenas de robles graves y de fresnos gentiles. ¿Es esto un bosque? Ciertamente que no; estos son los árboles que veo de un bosque. El bosque verdadero se compone de los árboles que no veo. El bosque es una naturaleza invisible -por eso en todos los idiomas conserva su nombre un halo de misterio.(ORTEGA Y GASSET, 1984)”

Este texto pode ser considerado uma ilustração do pensamento complexo. As árvores impedem uma visão completa do bosque, mas não é por isso que ele deixa de existir. A possibilidade de existência das árvores está no bosque e a possibilidade de existência do bosque está nas árvores.

Em suma, o operador hologramático nos ensina que não é possível disassociar a parte do todo. Ou seja, a parte está no todo, da mesma forma que o todo está na parte.

4) **Operador de Interação entre Sujeito-Objeto:** Neste operador observa-se a impossibilidade de separação entre o sujeito e objeto. O observador faz parte daquilo que observa.

Pode-se buscar na Física as origens deste operador. Heisenberg, e Pascual (1993) demonstraram que ao nível microfísico não se pode separar o observador de sua observação. É o seu famoso princípio da incerteza (ou de indeterminação) segundo o qual não é possível determinar de forma exata e simultaneamente a velocidade e a posição de um corpúsculo. Nesta escala de profundidade existe necessariamente interferência entre o observador e a observação, observação que o observador perturba inevitavelmente com os seus aparelhos, com o seu recorte e com o seu ângulo de visão.

Morin convida-nos a generalizar este princípio físico a fim de o converter em um princípio universal. Isto é especialmente importante para as ciências sociais e humanas onde não se trata simplesmente de um observador/idealizador, isto é, de um sujeito abstrato, mas de um sujeito situado *hic et nunc*, portador dos valores de cultura de uma classe, ou seja, de uma dada sociedade (FORTIN, 2007). É importante para o pesquisador (antropólogo, sociólogo, etc.) poder situar-se no interior de sua sociedade, tomar consciência de sua determinação cultural, em suma, observar-se sabendo-se observador.

Desta maneira, toda a observação e todo o conhecimento irá requerer a reintrodução do sujeito na observação, do sujeito no objeto. Assim, existe o sujeito recursivo do conhecimento conforme pode-se observar na Figura 35.

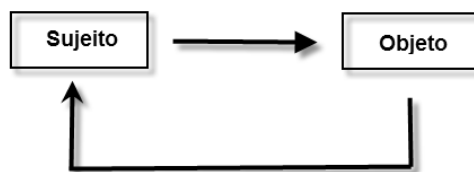


Figura 35: Circuito Recursivo do Conhecimento.

Desta forma, pode-se afirmar que o sujeito produz o objeto pois este o traduz na sua linguagem própria, que é a de um ser bio-antropológico cujas possibilidades e limites dependem de um espírito/cérebro separado do resto do mundo que ele só conhece sob a forma de representações. O sujeito produz o objeto pois o traduz em palavras, idéias e conceitos que sempre se referem a uma sociedade e a uma cultura (FORTIN, 2007).

5) **Operador de Ecologia de Ação** - Este operador afirma que que frequentemente as ações fogem ao controle de seus atores e causam efeitos inesperados, muitas vezes opostos aos efeitos desejados.

A ecologia da ação nos ensina que muitas vezes não é suficiente ter boa vontade. O prêmio nobel em economia *Thomas C. Schelling* apresenta em seu livro *Micromotives and Macrobehavior* (SCHELLING, 1978) alguns exemplos de como comportamentos individuais bem-intencionados em uma direção podem produzir efeitos contrários ao esperados. Ele ilustra isto demonstrando como a associação de indivíduos racialmente tolerantes pode levar a sociedade altamente segregacionista.

Será fornecido outro exemplo. Quando é alcançado um *tipping point* (em português já foi traduzido como ponto da virada ou ponto de transbordamento). A definição que pensamos ser mais adequada é “*Tipping Point* são níveis no quais o momentum para mudança se tornam impossíveis de serem parados (WALSH, 2007). Antes deste ponto, pequenas mudanças terão pequeno ou nenhum efeito no sistema. Quando alcança-se um *tipping point*, pequenas mudanças poderão causar grandes efeitos no resultado do sistema.

6) **Operador da Autoprodução** - Este operador afirma que os seres vivos autoproduzem os elementos que os constituem e se auto-organizam neste processo.

Existe uma autoorganização nos seres vivos que produzem e organizam a si próprios.

Muitas células do nosso corpo, por exemplo, morrem a cada dia e são substituídas por outras.

Claude Bernard (1813-1878) foi um fisiologista francês, um dos mais importantes de todos os tempos, e é considerado o “pai” da moderna fisiologia experimental. Ele desenvolveu o conceito de homeostase e afirmou na sua aula de abertura de um curso de Fisiologia ministrado no *College de France* em 1887:

“O corpo vivo, embora necessite do ambiente que o circunda, é, apesar disso, relativamente independente do mesmo. Esta independência do organismo com relação ao seu ambiente externo deriva do fato de que, nos seres vivos, os tecidos são, de fato, removidos das influências externas diretas, e são protegidos por um verdadeiro ambiente interno, que é constituído, particularmente, pelos fluidos que circulam no corpo” (JOHNSON; BYRNE, 2003).

7) **Operador da Circularidade** - Neste operador está a definição de retroalimentação (*feedback*). Uma determinada ação produzirá um efeito que por sua vez afetará a causa do mesmo e assim por diante. Na retroalimentação uma parte do sinal de saída de um sistema (ou circuito) é transferida para a entrada deste mesmo sistema, com o objetivo de diminuir, amplificar ou controlar a saída do sistema. Quando a retroalimentação diminui o nível da saída, fala-se de retroalimentação negativa, e quando a retroalimentação amplifica o nível da saída fala-se de retroalimentação positiva. Na Figura 36 esta esquematizado o conceito de retroalimentação.

Atualmente este conceito é importante para a resolução de vários problemas encontrados no mundo real, servindo de base, por exemplo, para o pensamento sistêmico (SENGE *et al.*, 1998).

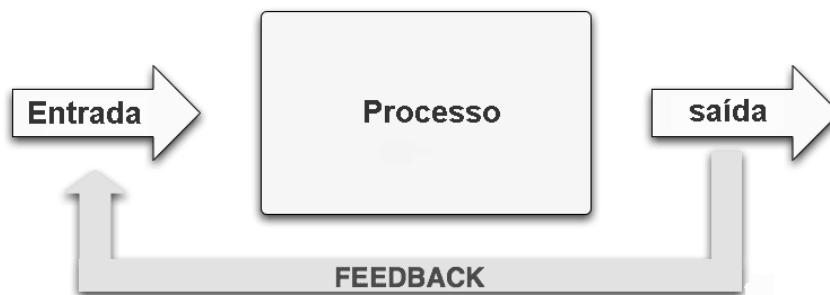


Figura 36: Exemplo de Retroalimentação. Fonte: (LIESHOUT, 2006).

5.2 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foi apresentado, em linhas gerais, o Pensamento Complexo. Ele será utilizado como um dos pilares na construção do modelo proposto neste trabalho para fornecer uma base epistemológica para a Ciência das Redes.

6 *Rizoma e Modelos de Representação do Conhecimento*

“Sócrates disse que ele era como uma parteira para os seus ouvintes, isto é, ele os fez refletir melhor preocupando-se no que que eles já sabiam e tornado-os mais conscientes a respeito disto. Se nós somente soubéssemos o que nós já sabemos, ou seja, que o uso de certas palavras e conceitos são tão sutis em sua aplicação, nós ficaríamos surpreendidos com os tesouros contidos em nosso conhecimento.”

Immanuel Kant

A partir deste capítulo será iniciada a contribuição efetiva do trabalho desta tese. Neste capítulo será feita uma exposição sobre formas de representação do conhecimento. Em seguida, serão apresentadas as estruturas: Árvore e Rizoma.

6.1 Conhecimento

“O que é conhecido sempre parece sistemático, provado, aplicável e evidente para aquele que conhece. Da mesma forma, todo sistema alheio de conhecimento sempre parece contraditório, não provado, inaplicável, irreal ou místico.”

Fleck

Inicialmente é possível fazer a clássica pergunta: o que é conhecimento? Para (BURKE, 2003), responder esta pergunta é quase tão difícil de responder quanto a pergunta mais famosa “O que é a verdade?”.

O conhecimento já foi imaginado como resultado da inteligência de Deus, como uma dádiva de Deus aos homens, como fruto da razão e como produto da experiência. Por toda

a história da humanidade, o conhecimento sempre foi concebido como um bem precioso, um mecanismo de dominação e controle, entretanto, parece ser nos dias atuais que sua posse está contribuindo cada vez mais para o avanço de pessoas, organizações e Estados.

Sócrates iniciou uma das maiores controvérsias afirmando que conhecia pouco, se é que conhecia algo. Por meio de seu severo questionamento, Sócrates abalou a convicção de pessoas que afirmavam ter conhecimento de verdades fundamentais como a Verdade, Beleza, Virtude e Justiça.

Platão, seu discípulo, continuou o trabalho de seu mestre criando a disciplina da *epistemologia* - o estudo da natureza do conhecimento e de sua justificação. A epistemologia pode ser definida etimologicamente como um discurso racional (*logos*) da ciência ou conhecimento (*episteme*). A palavra grega *episteme* pode ser traduzida para conhecimento estabelecido, conhecimento seguro. A esse termo opunha-se o termo *doxa*, que significa opinião. Isto porque, como Platão começou por sublinhar, não é possível conhecer falsidades, sendo contudo possível, e até freqüente, ter opiniões falsas. Assim, um dos problemas que desde logo se coloca é o de saber como se alcança o conhecimento e se evita a mera opinião.

Aristóteles, discípulo de Platão, sabiamente, desviou a ótica filosófica da natureza do conhecimento para outra menos controversa e mais prática, a da representação do conhecimento. Em sua monumental obra, Aristóteles compilou o conhecimento existente em seu tempo. Para realizar este trabalho ele teve que inventar a terminologia para representar este conhecimento. Segundo Sowa (1999), Aristóteles definiu o escopo inicial e a terminologia de várias disciplinas, tais como: Física, metafísica, Biologia, Psicologia, Lingüística, Política, Ética, Retórica e Economia. Paralelamente ao trabalho sistemático de representar o conhecimento, Aristóteles desenvolveu a *lógica* como um método preciso de raciocinar sobre o conhecimento.

Os filósofos da idade moderna Descartes e Kant mudaram a compreensão de conhecimento: do conhecimento no âmbito da divindade para o humano, colocando-o entre o pensamento e o objeto de estudo. Eles tentaram descobrir um fundamento para o conhecimento que fosse independente de quaisquer limites, suposições. Isto ocorreu com Descartes, ao propor o *Cogito, ergo sum* e com Kant, ao estabelecer o que se chamou de “plano transcendental”. No primeiro caso, conhecer é partir de uma proposição evidente (que por sua vez é produto de uma intuição básica). No segundo caso, conhecer é sobretudo “constituir”, isto é, constituir o objeto enquanto objeto de conhecimento.

Burke (2003) enfatiza a importância do conhecimento nos tempos atuais quando cita a era da “sociedade da informação” ou “sociedade do conhecimento”.

A Ciência da Informação vem contribuindo com a discussão sobre o conceito de conhecimento. A informação e o conhecimento como conceitos presentes na área da Ciência da Informação apresentam diversas definições, de acordo com diversos autores e suas linhas de atuação ou formação acadêmica e científica. Muitos destes pesquisadores trabalham com conceitos que se originam, ou são fundamentados, na Equação Fundamental da Ciência da Informação, elaborada por Bertram C. Brookes, no início dos anos 80, cuja linha de pesquisa considera a Ciência da Informação a partir de uma visão cognitiva (PEREIRA, 2006). A Fórmula de Brookes (1980), apresentada na Figura 37, é uma tentativa da Ciência da Informação de lidar com o fenômeno do conhecimento:

$$k(S) + \delta K = K(S + \delta S)$$

↑
 $\delta I;$

Figura 37: Fórmula de Brookes. Fonte: (RODRIGUES; LOPES, 2003)

Esta equação¹ exprime a passagem de um estado de conhecimento $k(S)$ para um novo estado de conhecimento $K(S + \delta S)$ por meio de um acréscimo de conhecimento δK obtido a partir de um incremento de informação δI , indicando por δS o efeito desta modificação no estado anterior de conhecimento (RODRIGUES; LOPES, 2003).

LE COADIC (2004), partindo do trabalho de Boulding (1961) e Belkin (1980), também faz referência a equação de Brookes:

“Nosso estado (ou nossos estados) de conhecimento a respeito de determinado assunto, em determinado momento, é representado por uma estrutura de conceitos ligados por suas relações: nossa imagem do mundo² Quando constatamos uma deficiência ou anomalia desse(s) estado(s) de conhecimento, encontramos-nos em um estado anômalo de conhecimento.³ Tentamos obter uma informação ou informações que corrigirão essa anomalia. Disso resultará um novo estado de conhecimento. É o que Brookes⁴ quis esquematizar e representar no que ele chamou de equação fundamental da Ciência das Informações.” (LE COADIC, 2004, p. 8 e 9)

¹Para um melhor entendimento da fórmula: K =conhecimento, S =estado anterior de conhecimento, δK =conhecimento acrescido e δI =incremento de informação.

²Neste ponto, o texto original faz referência a Boulding (1961).

³Neste lugar, o texto original faz referência a Belkin (1980).

⁴Aqui, o texto original faz referência a Brookes (1980).

O assunto “conhecimento” apresenta uma vastidão incomensurável na literatura. Neste trabalho procurou-se apenas apresentar algumas visões sobre o assunto.

6.2 Epistemologia ou Teoria do conhecimento

O *Teeteto* de Platão é considerada a primeira grande obra com preocupações epistemológicas ou relativas a teoria do conhecimento. Nele aparece, talvez pela primeira vez explicitamente na Filosofia, o confronto entre verdade e relativismo. A questão proposta é “O que é o conhecimento?”, e Sócrates oferece-se para fazer de parteira de modo a permitir que o jovem e brilhante matemático Teeteto dê à luz a resposta (KENNY, 2003). Açodadamente, *Teeteto* tenta contornar as dificuldades de dar uma resposta *filosófica* à pergunta fornecendo exemplos do que, em sua opinião, merece o qualitativo de conhecimento. De uma forma criticamente implacável diz-lhe Sócrates que a pergunta só pode ser adequadamente enfrentada por meio da elaboração de uma definição que se destaque por propiciar a identificação dos traços *essenciais* que permitem caracterizar como conhecimento genuíno domínios tão diferentes como Matemática, Filosofia e Física (CASTANON, 2007). Teeteto propõe 4 definições que são rechaçadas por Sócrates. O saber não pode ser definido mediante exemplos, não é percepção nem opinião verdadeira, nem uma explicação acompanhada de opinião verdadeira. Sócrates rebate estes argumentos de um ponto de vista crítico, isto é, só questiona o que propõe *Teeteto* através de perguntas e não formula um conceito do que é conhecimento.

A palavra epistemologia tem sido utilizada com significados diferentes na literatura especializada. Segundo os países e os usos, o conceito de epistemologia serve para designar:

1. **Teoria geral do conhecimento** (de natureza filosófica) - e neste sentido é sinônimo de gnoseologia ou crítica;
2. **Filosofia da Ciência** - estudos mais restritos concernentes à gênese e à estruturação das ciências.

No mundo anglo-saxão, epistemologia é sinônimo de teoria do conhecimento (ou gnoseologia), sendo mais conhecida pelo nome de *philosophy of science*. É neste significado que se fala de epistemologia na obra de Piaget versando sobre os processos de aquisição dos conhecimentos na criança (JAPIASSÚ; MARCONDES, 1996).

Segundo Castanon (2007), no século passado, a palavra epistemologia foi progressivamente perdendo sua acepção ampla, de teoria do conhecimento, para ganhar um sentido

mais restrito, de estudo metódico da ciência moderna, suas aplicações limites, métodos, organização e desenvolvimento. Simultaneamente, alguns filósofos de influência francesa também passaram a usar o termo epistemologia para designar o sentido bem amplo de estudo geral dos “saberes”, especulativos e científicos (ciência, teologia, filosofia), suas histórias, organização e funcionamento.

Mais recentemente, Japiassú (1975) distingue três tipos de Epistemologia:

1. **Epistemologia global ou geral** - trata do saber globalmente considerado, com a virtualidade e os problemas do conjunto de sua organização, quer sejam especulativos, quer científicos;
2. **Epistemologia particular** - trata de levar em consideração um campo particular do saber, quer seja especulativo, quer científico;
3. **Epistemologia específica** - trata de levar em conta uma disciplina intelectual-mente constituída em unidade bem definida do saber e de estudá-la de modo próximo, detalhado e técnico, mostrando sua organização, seu funcionamento e as possíveis relações que ela mantém com as demais disciplinas.

6.3 Representação do Conhecimento

Sowa (1999) afirma que as palavras *conhecimento* e *representação* têm provocado inúmeras controvérsias filosóficas nos últimos dois mil e quinhentos anos.

A representação do conhecimento é um problema comum de diversas áreas tais como: Ciência das Informação, Inteligência Artificial, Psicologia e Lingüística.

6.4 Representação do Conhecimento: Modelo Arborescente

As tecnologias do conhecimento, produzidas pelos seres humanos na tentativa de favorecer a compreensão do mundo, provocaram impactos sobre os saberes, e, conseqüentemente, promoveram novas interpretações da realidade. O entendimento das metáforas relacionadas ao conhecimento e às formas de sua apreensão nos mostram que a referência clássica para dizer das estruturas dos saberes e das ciências é a imagem da árvore (KENSKI, 1997).

“É curioso como a árvore dominou a realidade ocidental e todo o pensamento ocidental, da botânica à biologia, a anatomia, mas também a gnosiologia, a teologia, a ontologia, toda a filosofia...: o fundamento-raiz, *Ground, roots and foundations*.” (DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg. 28)

Na organização do saber, é possível observar que quase todas as disciplinas se utilizam de modelo arborecentes: informática, biologia, história, lingüística, etc. O que pode parecer uma simples metáfora pode aprisionar o nosso pensamento vinculando aos esquemas poder e hierarquia. Os sistemas de informática conservam este conceito de árvore, tendo um tronco principal. Nas palavras de Deleuze e Guattari, em *Mil Platôs*, “isso fica claro nos problemas atuais de informática e das máquinas eletrônicas, que conservam ainda o mais velho pensamento, na medida em que confere o poder a uma memória ou a um órgão central.” (DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg. 26)

É importante sempre termos em mente que a árvore não corresponde, na verdade, à estrutura de pensamento e do conhecimento; consiste, apenas, em uma representação para classificá-lo e organizá-lo. Como afirmou Deleuze e Guattari (1995), “Muitas pessoas têm uma árvore plantada na cabeça, mas o próprio cérebro é muito mais uma erva do que uma árvore”.

Na Grécia antiga inicia-se o pensamento arborecente com os trabalhos de Platão (428-347 a.C.). Platão foi o mais importante continuador da obra de Sócrates e é quem dá a Filosofia a sua primeira grande sistematização. Para este filósofo, a Filosofia seria uma busca pela verdade e pelas essências das coisas (as idéias) que somente poderiam ser alcançadas por um raciocínio dialético. O método dedutivo adotado por Platão, teria como fundamento o princípio da decomposição dos elementos que se daria por oposição e dualidade, e que conduziria as pessoas da mera opinião (*doxa*, mundo sensível) ao mundo das idéias. Ao mesmo tempo, segundo Platão, as idéias remetiam às unidades das coisas e as multiciplidades eram rejeitadas como meros acidentes e imperfeições das coisas em relação a sua idéia⁵ (FERREIRA, 2008).

Segundo Burke (2003), a metáfora-chave na Idade Média para visualizar o sistema de conhecimento era de uma árvore e seus galhos. Como exemplo este autor cita as árvores do conhecimento como a *Arbor scientiae* de Raimundo Lúlio (conforme é possível observar na Figura 38). Este livro foi escrito por volta do ano de 1300, mas foi reeditado diversas vezes. Entre outras arvores

⁵Segundo Platão, nosso mundo é uma cópia imperfeita e transitória de um outro mundo, transcendente, onde estão as idéias - formas incorpóreas, invisíveis, eternas e imutáveis. Os nossos sentidos somente seriam capazes de captar a cópia. Ao original, só a razão teria acesso. Nosso mundo seria a *doxa*, da mera opinião. Para “ver” o que se esconde por trás, necessita-se da ciência, a *episteme* (ABRÃO, 2004). Para exemplificar a visão de Platão, considere um conjunto de cavalos. Apesar deles não serem exatamente iguais, existe algo que é comum a todos os cavalos; algo que garante que nós jamais iremos ter problemas para reconhecer um cavalo. Naturalmente, um exemplar isolado do cavalo, este sim “flui”, “passa”. Ele envelhece e fica manco, depois adoece e morre. Mas a verdadeira forma do cavalo é eterna e imutável.

Burke cita a árvore judiciária, árvore da gramática, árvore dos jesuítas e a árvore do patrimônio e repartições francesas (na verdade um organograma do governo francês).

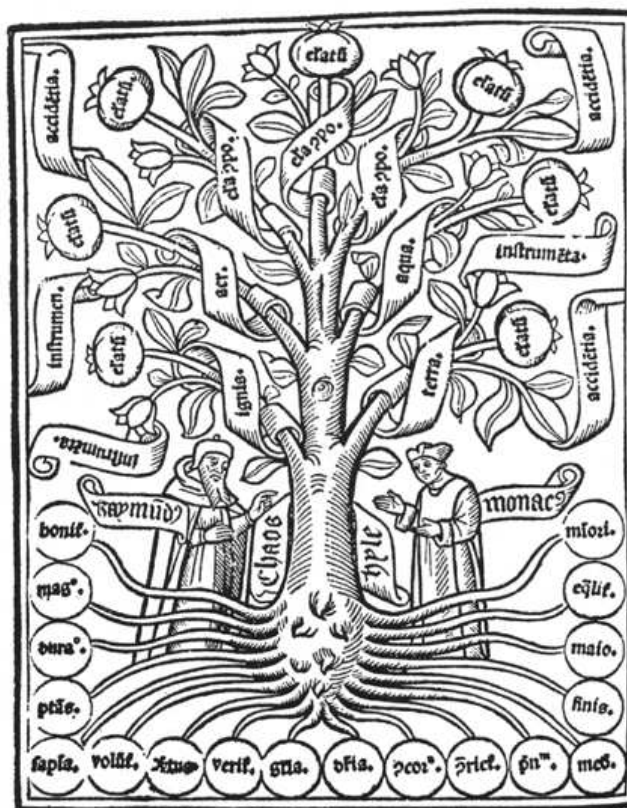


Figura 38: Árvore do Conhecimento - Página de rosto de *Arbor scientiae* de Raimundo Lúlio. Fonte: (BURKE, 2003).

Monteiro (2006) afirma que a organização clássica do conhecimento utiliza o esquema da Árvore de Porfírio⁶. Esta árvore que integra a obra *Introductio in Praedicamenta* (também conhecida como *Isagoge*, nome da tradução latina feita por Boécio), que tem como modelo e definição as dicotomias sucessivas, ordenando as idéias segundo sua compreensão crescente e extensão decrescente, relacionando de forma indistinta a realidade espiritual e a realidade natural. Segundo Porfírio, os conceitos se subordinam, partindo dos mais gerais até chegar aos menos extensos. A *Arbor porphyriana* deu início ao Nominalismo⁷, que animou a Filosofia medieval por vários séculos e é uma espécie de antecessora das modernas classificações taxonômicas. Na Figura 39 pode-se observar esta árvore.

Ao raciocinar em termos de árvore usa-se subjacentemente a idéia de uma estrutura de poder, de hierarquia. Cria-se, assim, uma distinção entre dominantes e subordinados partindo

⁶Porfírio (c.232- c.304), foi um filósofo neoplatônico e um dos mais importantes discípulos de Plotino.

⁷Na chamada “disputa dos universais” durante a Idade Média, o Nominalismo consistiu *grosso modo* em afirmar o seguinte: as espécies e os gêneros e, em geral, os universais não são realidades anteriores às coisas, segundo sustentava o realismo ou “platonismo” (FERRATER MORA, 1969).

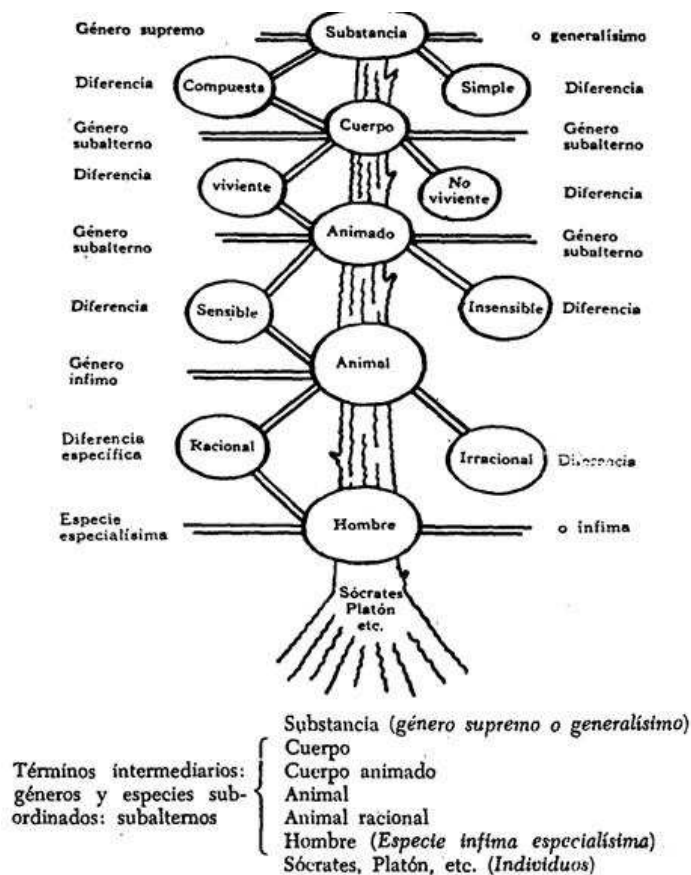


Figura 39: Árvore de Porfírio - Fonte: (FERRATER MORA, 1969)

das raízes, troncos, galhos, flores e frutos. Burke faz uma crítica a estrutura arborescente:

“A imagem da árvore ilustra um fenômeno central em história cultural, a naturalização do convencional, ou a apresentação da cultura como se fosse natureza, da invenção como se fosse descoberta. Isso equivale a negar que os grupos sociais sejam responsáveis pela classificação, assim sustentando a reprodução cultural e resistindo a tentativas de inovação.” (BURKE, 2003, pg. 82)

Posteriormente o termo “árvore” foi substituído pelo termo mais abstrato “sistema”, durante o século XVII para designar a organização do conhecimento. Este termo tem sua origem associada aos antigos filósofos estóicos e era aplicado tanto a disciplinas específicas quanto ao conhecimento como um todo (BURKE, 2003).

6.5 Representação do Conhecimento: Modelos Rizomático

Neste modelo, a organização dos elementos não segue uma linha de subordinação e hierarquia, com raiz originando múltiplos ramos, mas, pelo contrário, qualquer elemento pode afetar ou incidir sobre qualquer outro. Como foi visto anteriormente, em um modelo arbóreo de organização do conhecimento - como as taxionomias - o que é afirmado dos elementos de mais alto nível é necessariamente verdadeiro para os elementos subordinados, mas o contrário não é válido. Em um modelo rizomático, qualquer afirmação que incida sobre algum elemento poderá também incidir sobre outros elementos da estrutura, sem importar sua posição recíproca. O rizoma carece, portanto, de centro, característica que torna-o particularmente interessante na filosofia da ciência e política, e também para a semiótica e as teorias da comunicação contemporâneas.

Para que seja possível o entendimento deste modelo de conhecimento, é necessário o conhecimento do conceito de rizoma:

O conceito de rizoma tem sua origem na botânica. Chama-se de rizoma um tipo de caule que algumas plantas verdes possuem, que cresce horizontalmente, muitas vezes subterrâneo, mas podendo ter porções aéreas. Esta estrutura pode ramificar-se em qualquer lugar, assim como transformar-se em bulbo ou tubérculo. O caule da espada-de-são-jorge, do lírio-da-paz e da bananeira são totalmente subterrâneos, mas as orquídeas desenvolvem rizomas parcialmente aéreos. Na Figura 40 apresenta um exemplo de rizoma.

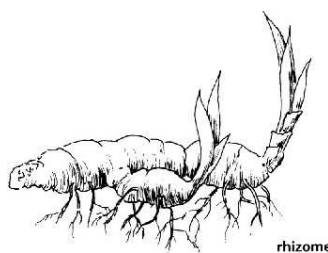


Figura 40: Exemplo de rizoma. Fonte: (TENENBAUM, 2007)

O conceito de rizoma foi modificado e ampliado por Gilles Deleuze e Félix Guatarri. Estes autores usaram o termo “rizoma” para descrever a teoria e a pesquisa que permite que múltiplos pontos de entrada e saída não-hierárquicos na representação e interpretação de dados. Em seu livro *Mil Platôs* (DELEUZE; GUATARRI, 1995), eles se opõem a concepção arbórescente do conhecimento, que trabalha com categorias dualistas e escolhas binárias. Um rizoma trabalha com conexões horizontais e trans-espécies, enquanto o modelo arbórescente trabalha com conexões verticais e lineares.

“Um rizoma não começa nem conclui, ele se encontra sempre no meio,

entre as coisas, inter-ser, *intermezzo*. A árvore é filiação, mas o rizoma é aliança, unicamente aliança. A árvore impõe o verbo “ser”, mas o rizoma tem como tecido a conjunção “e... e... e...”. Há nesta conjunção força suficiente para sacudir e desenraizar o verbo ser. Entre as coisas não designa uma correlação localizável que vai de uma para outra e reciprocamente, mas uma direção perpendicular, um movimento transversal que as carrega uma e outra, riacho sem início nem fim, que rói suas duas margens e adquire velocidade no meio.”

Gilles Deleuze e Felix Guatarri (DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg. 37)

Deleuze e Guatarri contrapõem rizoma à árvore. A metáfora das ramificações arborescentes encontra-se incrustada em nossa sociedade, estando presentes em diversas estruturas na vida, nas instituições e no saber. As estruturas de poder em sociedade são sempre arborescentes. O conceito de rizoma apresentado por Deleuze e Guatarri amplia fortemente a definição botânica de rizoma, pois este não comporta a definição de multiplicidade, sendo apenas definido para um tipo de caule. Para Deleuze e Guatarri, o rizoma é o caule em conjunto com a terra, o ar, os animais, a idéia humana de solo, a árvore, dentre outros. Este conceito de rizoma não o limita à pura materialidade do conceito, mas também a uma máquina abstrata que o arrasta sendo um conceito ao mesmo tempo ontológico e pragmático de análise.

Como é possível observar, um rizoma apresenta uma complexidade que muito se assemelha ao novo paradigma tecnológico em um mundo de complexidade crescente, no qual vive-se atualmente. Deleuze e Guattari, nesse sentido, foram brilhantes ao explorar o termo rizoma. Eles estabeleceram os princípios do funcionamento do rizoma. Mencioná-lo enriquecerá ainda mais a nossa compreensão:

1º 2º - Princípios de conexão e de heterogeneidade:

“qualquer ponto de um rizoma pode ser conectado a qualquer outro e deve sê-lo. É muito diferente da árvore ou da raiz que fixam um ponto, uma ordem. A árvore lingüística à maneira de Chomsky⁸ começa ainda num ponto S e procede por dicotomia. Num rizoma, ao contrário, cada traço não remete necessariamente a um traço lingüístico: cadeias semióticas de toda natureza são aí conectadas a modos de codificação muito diversos, cadeias biológicas, políticas, econômicas, etc., colocando em jogo não somente regimes de signos diferentes, mas também estatutos de estados de coisas.”(DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg. 15)

Neste trecho é possível observar a descentralização do sujeito, e a negação da genealogia, afirmação de uma *heterogênese* em contraste à ordem filiativa do modelo de árvore e raiz. O

⁸Avram Noam Chomsky (1928-) lingüista americano, filósofo e ativista político. Chomsky acredita que a velocidade no qual as crianças dominam o seu idioma nativo não pode ser explicada pela teoria do aprendizado, mas requer o reconhecimento de uma disposição inata da mente, uma gramática, que não foi aprendida, inata e universal. Esta gramática provê os tipos de regras que a criança irá entender, *a priori*, para ser empregado nos exemplos de fala com que elas são confrontadas (OXFORD, 2005).

rizoma é distinto disso tudo, pois não fixa pontos nem ordens - há apenas linhas e trajetos de diversas semióticas, estados e coisas, e nada remete necessariamente a outra coisa.

3º - Princípio de multiplicidade:

“é somente quando o múltiplo é efetivamente tratado como substantivo, multiplicidade, que ele não tem mais nenhuma relação com o uno como sujeito ou como objeto, como realidade natural ou espiritual, como imagem e mundo. As multiplicidades são rizomáticas e denunciam as pseudo-multiplicidades arborescentes. Inexistência, pois, de unidade que sirva de pivô no objeto ou que se divida no sujeito. Inexistência de unidade ainda que fosse para abortar no objeto e para “voltar” no sujeito. Uma multiplicidade não tem nem sujeito nem objeto, mas somente determinações, grandezas, dimensões que não podem crescer sem que mude de natureza (as leis de combinação crescem então com a multiplicidade).” (DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg. 16)

A multiplicidade é um dos conceitos principais na obra de Deleuze e Guatarri, tanto que a sua Filosofia é denominada pelos próprios autores de uma “teoria das multiplicidades”. Para Deleuze e Guatarri (1995), o rizoma seria uma maneira de expressar as multiplicidades sem ter que ligá-las à unidade. Quando se nomeiam as diferenças como *O Múltiplo* já estamos subordinando a pluralidade a uma forma unitária (FERREIRA, 2008). Segundo Castro (2007), As multiplicidades são assim sistemas cuja complexidade é “lateral”, refratária à hierarquia ou a qualquer outra forma de unificação transcendente.

Os autores exemplificam o conceito através das marionetes, os fios e o manipulador: os fios de uma marionete constituem a multiplicidade, nem o que controla, nem o boneco controlado com as cordas, mas as próprias cordas, que comunicam uma parte à outra.

4º - Princípio de ruptura a-significante:

“contra os cortes demasiado significantes que separam as estruturas, ou que atravessam uma estrutura. Um rizoma pode ser rompido, quebrado em um lugar qualquer, e também retoma segundo uma ou outra de suas linhas e segundo outras linhas. É impossível exterminar as formigas, porque elas formam um rizoma animal do qual a maior parte pode ser destruída sem que ele deixe de se re-construir. Todo rizoma compreende linhas de segmentaridade segundo as quais ele é estratificado, territorializado, organizado, unificado, atribuído, etc.; mas compreende também linhas de desterritorialização pelas quais ele foge sem parar.” (DELEUZE; GUATARRI, 1995)

Este princípio nos remete à não-linearidade do rizoma. Se, por exemplo, uma raiz é interrompida, ela retoma seu crescimento em uma forma diferente ou em mais raízes, mas mesmo assim elas serão parte do rizoma. O rizoma se transforma e se reconstrói em cada uma destas quebras ou interrupções, que formam sua linha de fuga e essas linhas remetem umas às outras. Traça-se

uma linha de fuga quando se faz uma ruptura, mas nela podem encontrar-se com elementos que reordenam o conjunto e reconstituem o sujeito.

5º e 6º - Princípio de cartografia e de decalcomania:

“um rizoma não pode ser justificado por nenhum modelo estrutural ou gerativo. Ele é estranho a qualquer idéia de eixo genético ou de estrutura profunda. Um eixo genético é como uma unidade pivotante objetiva sobre a qual se organizam estados sucessivos; uma estrutura profunda é, antes, como que uma seqüência de base decomponível em constituintes imediatos, enquanto que a unidade do produto se apresenta numa outra dimensão, transformacional e subjetiva.”(DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg. 18)

Para ilustrar melhor este fenômeno, Deleuze e Guattari usam os conceitos de mapa e decalque. Para estes autores o mapa é uma construção, possui múltiplas entradas e “ele é conectável em todas as suas dimensões, desmontável, reversível, suscetível de receber modificações constantemente”.(DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg. 22). Porém o mapa pode ser decalcado, mas não reproduzido.

A lógica dos sistemas arborescentes é baseada no decalque e na reprodução de algo que já foi dado anteriormente. Tudo é fruto e continuidade de algo pré-existente. Por outro lado, O rizoma não tem origem e não pode se decompor. O rizoma é um, *mapa e não um decalque*.

Abaixo, é possível observar um resumo das principais características do rizoma:

1. Ele conecta um ponto qualquer a outro qualquer e cada um de seus traços não remete necessariamente a outro de qualquer natureza.
2. O rizoma não é um múltiplo que deriva do UNO. Não é feito de unidades, mas de dimensões.
3. Ele não tem começo, nem fim, mas sempre um meio. Ele não começa, nem conclui.
4. Constitui multiplicidades lineares a n dimensões, sem sujeito, nem objeto. O uno é sempre subtraído
5. O rizoma é feito somente de linhas de segmentaridade, estratificação, como dimensões, assim como linhas de fuga e de desterritorialização.
6. Procede por variação, conquista, captura. Se refere a um mapa que deve ser produzido, construído, desmontável, reversível, com múltiplas entradas e saídas.
7. O rizoma é um platô na medida em que é uma multiplicidade conectável com outras hastes subterrâneas superficiais de maneira que se formam e estendem a um rizoma.

6.6 Conclusão

Deleuze e Guattari chamam a atenção para a relação entre a árvore e o rizoma. Mesmo criticando a árvore, os autores afirmam a existência de uma relação entre os dois, em que um transpassa o outro, modificando mutuamente a sua natureza. Esta afirmação significa que, mesmo no rizoma, podem existir segmentos que vão endurecer e tornar-se árvore, ao mesmo tempo em que na árvore pode se dar a constituição de um rizoma. Exemplificando, os autores afirmam que “as sociedades primitivas têm núcleos de dureza, de arborificação, que tanto antecipam o Estado quanto o conjuram. Inversamente, nossas sociedades continuam banhando num tecido flexível sem o qual os segmentos duros não vingariam”(DELEUZE; GUATARRI, 1996, pg. 90).

O trabalho de Deleuze e Guattari na construção do rizoma constitui-se em outro pilar na construção de um modelo para a fundamentação epistemológica para a Ciência das Redes.

7 Rede como Rizoma ?

“A vida sempre se me afigurou uma planta que extrai sua vitalidade do rizoma; a vida, propriamente dita, não é visível, pois jaz na rizoma. O que se torna visível sobre a terra dura só um verão, depois fenece... Aparição efêmera. Quando se pensa no futuro e no desaparecimento infinito da vida e das culturas, não podemos nos furtar a uma impressão de total futilidade; mas nunca perdi o sentimento da perenidade da vida sob a eterna mudança. O que vemos é a floração, e ela desaparece. Mas o rizoma persiste.”

Carl Gustav Jung

CONCEITOS de “redes” têm sido formulados em diferentes ramos da ciência a partir de metáforas que remetem a inter-relações, associações encadeadas, interações, vínculos não-hierarquizados (AGUIAR, 2002). As metáforas mais usualmente utilizadas para as redes são: malha (trama de ligações simétricas), teia e árvore. No final do século XX, o conceito de rizoma de Deleuze e Guattari passou a ser a metáfora chave nos estudos de redes, principalmente nos estudos envolvendo a *Web* e a hipermídia.

Gilles Deleuze marcou profundamente todo o pensamento contemporâneo, se tornando um dos principais nomes da Filosofia do século XX. Seu conceito de Rizoma apresentado anteriormente foi desenvolvido juntamente com Felix Guattari e apresentadas inicialmente na introdução do livro *Mil Platôs*¹ (DELEUZE; GUATTARI, 1995). Para Zourabichvili (2004) este é provavelmente o mais famoso conceito da obra de Deleuze e Guattari e nem sempre é bem compreendido.

Por exemplo, na discussão sobre hipertextualidade nos anos 90, foi dedicada uma especial atenção à metáfora do rizoma enquanto representação mais adequada que a hierarquia radicular. Buscando fundamentação em “*Mil Platôs*”, de Deleuze e Guattari, diversos trabalhos passam a definir que, assim como um rizoma, o hipertexto poderia ser lido a partir de qualquer ponto, cujas léxias² estariam inter-relacionadas a todas outras léxias. Baseando-se nessa ilustração, passa-se com frequência a apontar um caráter igualitário entre as léxias e sugerir que “tudo estaria

¹Segundo Zourabichvili (2004) a introdução de *Mil platôs*, intitulada “*Rizoma*”, foi publicada separadamente alguns anos antes do livro; a noção surge inicialmente no *Kafka* (DELEUZE; GUATTARI, 1975).

²O termo *lexia* denomina os blocos ou unidades básicas de informação que constituem um hipertexto.

conectado com tudo” (PRIMO; RECUERO, 2004). Mas serão tais afirmativas fiéis à topologia das redes?

A proposta deste capítulo será analisar se os conceitos de rizoma podem funcionar como fundamentos epistemológicos para a Ciência das Redes. Para Moura (2003), princípios são origem, a causa primária, a fonte geradora e o elemento predominante de uma determinada área do conhecimento. Isto será feito a partir da análise dos princípios de rizoma.

7.1 Análise dos princípios do Rizoma

Para realizarmos esta análise serão analisados os princípios de rizoma definidos por Deleuze e Guattari para analisarmos se estes princípios podem ser considerados também como fundamentadores para a Ciência das Redes:

1º - Princípio da conexão

“qualquer ponto de um rizoma pode ser conectado a qualquer outro e deve sê-lo”

Uma forma de iniciar esta análise pode ser iniciarmos o questionamento se haveria restrição a conexão de dois pontos quaisquer em uma rede. Em uma rede genérica não existe restrição a conexão entre quaisquer dois nós de uma rede. Como a definição que está sendo utilizada é de “um conjunto de itens conectados entre si” conforme visto na página 33, quaisquer pontos de uma rede poderiam ser conectados entre si.

Em redes do mundo real onde exista alguma espécie de hierarquia ou que estes nós não sejam completamente homogêneos pode-se vislumbrar restrições a esta conectividade ilimitada das redes, por exemplo: uma rede de computadores (vista pelo seu nível físico) é constituída por diversos elementos, tais como computadores, concentradores (*hubs*), *switches*, roteadores. Alguns desses elementos podem agir como centro de distribuição interligando apenas equipamentos de um determinado tipo impedindo desta forma que um computador seja conectado diretamente a um elemento do centro da rede, por exemplo.

Outra exemplo, em uma rede de distribuição de energia elétrica existem diversos elementos trabalhando com baixa, média e alta tensão. Seria ilusório neste caso pensarmos em uma conexão ilimitada entre os nós interligando diretamente, por exemplo, equipamentos de baixa tensão com equipamentos de alta tensão.

2º - Princípio da heterogeneidade

O princípio da heterogeneidade trata da interligação de objetos de natureza diferentes interligados para a formação de uma rede. Conforme a definição apresentada na página 33, não há

restrições a ligação entre elementos de natureza diversa em uma rede. Em problemas de diversas naturezas existe a necessidade de levar em consideração todas as inter-relações entre os diversos componentes de um determinado problema.

Este princípio foi utilizado de maneira semelhante por Lévy (1993), usando como exemplo a estrutura do hipertexto ³, para Levy, neste ambiente, tanto os nós quanto as ligações entre eles são heterogêneos: texto, imagem, som, dentre outras mídias. compõem uma linguagem única, integrados pela digitalização, e podem compor uma mesma mensagem. A apreensão numérica da realidade permite que as conexões entre elementos heterogêneos (por exemplo, texto-imagem) se processem automaticamente e com um grau de precisão quase absoluto.

3º - Princípio da multiplicidade

“A multiplicidade não deve designar uma combinação de múltiplo e de um, mas, ao contrário, uma organização própria do múltiplo enquanto tal, que não tem necessidade alguma da unidade para formar um sistema” (DELEUZE; GUATTARI, 1995).

Para (DELEUZE; GUATTARI, 1995) as multiplicidades são rizomáticas, “(...) não têm nem sujeito nem objeto, mas somente determinações, grandezas, dimensões que não podem crescer sem que mude de natureza (...) é precisamente este crescimento das dimensões numa multiplicidade que muda necessariamente de natureza à medida que ela aumenta suas conexões”. As multiplicidades são a própria realidade, e não supõem nenhuma unidade, não entram em nenhuma totalidade e tampouco remetem a um sujeito.

Desta forma, o rizoma poderia ser uma forma de expressar as multiplicidades sem ter que ligá-las diretamente à unidade. Para Deleuze e Guattari, o próprio ato de se nomear as diferenças como O Múltiplo já subordinaria a pluralidade a uma forma unitária. O artigo definido “o” reduz a multiplicidade a uma identidade bem definida, o que de maneira alguma pode ser uma expressão das diferenças, já que, desta maneira, acaba-se remetendo as singularidades às identidades, limitando-as. Com a palavra multiplicidades, escapa-se do binário Uno-Múltiplo, que dão lugar agora aos jogos de forças, vetores que se ligam uns aos outros, simulando novas misturas. As singularidades não podem ser pensadas a partir do artigo definido, mas sim pelo artigo indefinido, pois este não fecha novas possibilidades de agenciamentos (FERREIRA, 2008).

Verificando a aplicabilidade do conceito de multiplicidade em uma rede do mundo real, observa-se o seu uso com restrições. Existem, basicamente, duas maneiras de se analisar o comportamento de uma rede em relação ao tempo: uma abordagem estática e uma abordagem dinâmica.

Na abordagem estática a rede é analisada a partir de sua constituição em um determinado

³atualmente para esta conexão heterogênea de mídias, o termo hipermídia seria preferível.

instante. Pode ser feita a analogia com uma fotografia da rede em um determinado momento. Neste caso, a rede é analisada a partir das propriedades observáveis no momento atual.

Outra abordagem possível, é a abordagem dinâmica. Neste caso procura-se analisar o comportamento da rede no decorrer do tempo, entender o seu comportamento e o seu crescimento. Ultimamente, tem-se se dado grande importância a abordagem dinâmica, pois ela nos ela a compreender melhor a natureza das redes. Após a identificação das variáveis que levam a formação das redes, os cientistas simulam seu comportamento em computadores.

Observa-se o princípio da multiplicidade em redes quando adota-se a abordagem estática. Ao analisar uma rede desta maneira pode-se ver uma série de nós conectados sem nenhuma estrutura de hierarquia. Nesta abordagem é possível ver o múltiplo sem identificar o uno.

Na abordagem dinâmica, por outro lado, é possível observar o crescimento da rede. Neste caso a adição de cada nó a rede e a sua conexão com nós previamente existentes é importante para o entendimento do comportamento da rede. Neste caso, vê-se a impossibilidade de caracterizar a rede usando o princípio da multiplicidade do rizoma. Este princípio, que parece ser de natureza anárquica, um contraponto a idéia de árvore, seria inadequado para caracterizar a rede.

4º - Princípio de ruptura a-significante

O princípio de ruptura a-significante afirmar que “um rizoma pode ser rompido, quebrado num ponto qualquer”, contrariamente às estruturas arborescentes cujos pontos de ruptura estão limitativamente localizados e significantes.

Este princípio ilustra muito bem uma capacidade de autogeração das redes. Um rizoma pode ser rompido, quebrado em um lugar qualquer, e também retoma segundo uma ou outra se suas linhas e segundo outras linhas (DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg.18). Observe o caso das formigas: cada formiga em si representa apenas um pequeno invertebrado. Porém, devido à sua organização rizomática, é muito difícil exterminá-las. Mesmo que um grande número de formigas seja destruído, o rizoma pode se recompor:

“É impossível exterminar as formigas, porque elas formam um rizoma animal do qual a maior parte pode ser destruída sem que ele deixe de se reconstruir. (...) Faz-se uma ruptura, traça-se uma linha de fuga, mas corre-se sempre o risco de reencontrar nela organizações que reestratificam o conjunto, formações que dão novamente o poder a um significante (...)” (DELEUZE; GUATARRI, 1995, pg.18).

Como já foi visto na revisão de literatura, uma das características fundamentais das redes do mundo real é a sua baixa vulnerabilidade a ataques aleatórios. Uma rede que se parte em um determinado ponto pode se manter ativa e muitas vezes regenerar as conexões destruídas com novas conexões. Isto demonstra a força de estruturas em rede como a Internet, por exemplo, uma rede sem comando central, difícil de ser destruída e controlada. A partir de qualquer ponto

da rede pode-se criar novas conexões à rede tornando-se um labirinto de conexões e tornando desta forma mais democrático o acesso a esta.

5º - Princípios da cartografia e decalcomania

Deleuze e Guattari afirmam que um rizoma não é um mecanismo de decalque, mas um mapa com múltiplos lugares de entrada, em constante mutação, por isso não pode ser demonstrado por nenhum modelo estrutural ou gerativo. O decalque, para eles, seria uma cópia, uma imitação, uma representação. O rizoma se refere a um mapa que deve ser produzido, construído, sempre desmontável, conectável, reversível, modificável, com múltiplas entradas e saídas, com suas linhas de fuga, “São os decalques que precisam se referir aos mapas e não o inverso” (DELEUZE; GUATTARI, 1995, pg. 13).

No mundo das redes do mundo real, também assemelham-se ao rizoma, na medida em que não existe um mecanismo gerativo que possa construir uma rede semelhante ao mundo real. Cientistas procuram variáveis, em ambientes de laboratório de simulação computacional, que possam reproduzir o crescimento das redes. Existem alguns avanços na descoberta de variáveis, como apresentado na revisão de literatura, na busca de elementos como o “acoplamento preferencial” e a “aptidão” do nó para que possa ser simulado em computador o crescimento de uma rede. Isto nos permite, apenas, compreender melhor o crescimento da rede e não afirmar que esta tenha um princípio gerativo.

7.2 Conclusão do capítulo

Não é possível utilizar o conceito de rizoma “plenamente” como base para o conceito de rede. Este conceito foi criado de forma a ser uma antítese ao conceito de árvore, criando uma “anti-árvore” onde tudo é possível. O rizoma, enquanto “contra-paradigma” que não pode ser realizado em nenhum tempo ou cultura, serviria apenas como uma referência de libertária ao modelo hierárquico e aprisionador. A aceitação universal deste conceito, principalmente nas ciências sociais, parece ser a sedução da transgressão intrínseca a este conceito.

Em setores mais específicos como o hipertexto, já existem críticas a onipresença do conceito do rizoma como o seu paradigma fundamental. Landow e Landlow (1997) avisa que não se deve forçar demais as semelhanças da metáfora do rizoma com o hipertexto digital, visto que ela não poderia ser plenamente realizada por qualquer tecnologia que trabalhasse com palavras, imagens ou outras limitações.

Porém, deve ser considerado a riqueza deste conceito. Como foi visto anteriormente neste capítulo, alguns dos princípios de rizoma podem ser aplicados integralmente as redes. Outros podem ser “podados” e usados também como subsídios para a construção de um novo modelo.

8 *Ciência das Redes e Propriedades das Redes*

“A elaboração de novas idéias depende da libertação das formas habituais de pensamento e expressão. A dificuldade não está nas novas idéias, mas em escapar das velhas, que se ramificam por todos os campos de nossa mente.”

John Maynard Keynes

O Universo das redes permeia a nossa vida, porém seu entendimento ainda é primitivo. Inicialmente, serão tratadas as definições de grafos, redes e Ciência das Redes de forma a poder situar uma posição neste mar de conceitos apresentados na revisão de literatura. Neste capítulo será apresentada uma visão e uma compilação inédita das propriedades das redes. A escolha de trabalhar com as propriedades das redes é uma forma de poder compreender melhor este objeto de estudo para termos instrumentos capazes de prever o seu comportamento futuro.

Para entender o motivo da escolha de trabalhar com as propriedades, será feita uma breve exposição de forma a mostrar a importância deste conceito na história do pensamento humano. A reunião das propriedades apresentadas nos permite visualizar as principais características das redes.

8.1 Definições

Redes

O conceito de redes já foi apresentado anteriormente na revisão de literatura. A principal característica que diferencia o conceito de rede na Ciência das Redes da definição apresentada anteriormente e encontrada mais frequentemente na Teoria dos Grafos é que a abordagem tradicional deste conceito tende a negligenciar ou simplificar o relacionamento entre as propriedades estruturais de um sistema em rede e de seu comportamento. Isto pode ser observado no texto abaixo :

“A noção de uma rede deve ser abstraída da sua realidade física, biológica e social em que são experimentalmente observada. ... uma rede é descrita por sua estrutura (ex: nós e ligações), sua dinâmica (atributos temporais dos nós e ligações), e de seus comportamentos (o que a rede “faz” como resultado das interações entre nós e ligações). Por isso pode-se dizer que a rede é sempre uma representação ou modelo da realidade observável, não a realidade em si. Isto cria questões interessantes sobre a unicidade de uma específica representação de rede para um fenômeno particular, por exemplo, um modelo de rede para um processo metabólico. É difícil estabelecer que um modelo de rede de um processo social ou biológico é único da mesma forma que as equações de Maxwell unicamente descrevem a propagação de ondas magnéticas independentemente dos detalhes do ambiente físico associado(NRC, 2005, p. 27 e 28).”

Ciência das Redes

A Ciência das Redes pode ser definida de várias formas. Na literatura é possível encontrar diversas definições dependendo da área de origem do pesquisador. A definição mais simples encontrada provém do *The Committee on Network Science for Future Army Applications* em cooperação com o *National Research Council of the National Academies*(NRC, 2005) que define Ciência das Redes como “conhecimento organizado de redes baseado no estudos destas por meio de um método científico”. Em seguida, este mesmo grupo apresenta outra definição para a Ciência das Redes: “Ciência das Redes consiste no estudo das representações em rede dos fenômenos físicos, sociais e biológicos tendo em vista a criação de modelos preditivos destes fenômenos”. Esta é uma definição interessante, porém limitada, na medida em que restringe esta ciência apenas a criação de modelos preditivos.

Após finalizada a revisão de literatura, chega-se a conclusão que o conceito de Ciência das Redes deve ser mais genérico, esta pode ser vista como um esforço de achar princípios universais que possam ser aplicadas a praticamente quaisquer tipos de rede, sejam elas biológicas, sociais ou tecnológicas. Por isso a definição de redes que a nosso ser mais adequada e que será utilizada neste texto é de Lewis (2009) : **a Ciência das Redes é o estudo dos fundamentos teóricos do comportamento estrutural e dinâmico das redes e de suas aplicações**. Após toda a análise da literatura, esta é a definição que considera-se ser a mais precisa, completa e abrangente; abordando a Ciência das Redes como uma ciência que estuda sistemas interagentes.

É importante observar que existe na literatura uma certa confusão no uso dos termos “Redes Complexas” e “Ciência das Redes”. Uma rede complexa é uma rede com propriedades topológicas não-triviais. Estas características não ocorrem em redes simples como as treliças (malhas) ou grafos aleatórios. O que pode ser afirmado é que o estudo das redes complexas motivou o aparecimento da Ciência das Redes.

8.2 O Conceito de Propriedade

Para compreender a importância do conceito de propriedade, será feito um breve histórico de seu conceito.

Questionamentos acerca da natureza e da existência de propriedades são praticamente tão antigas quanto a Filosofia. O interesse sobre as propriedades permeou a história da Filosofia. Nas últimas décadas, observa-se um crescimento no seu interesse e a publicação de diversos estudos sobre as propriedades. Bell e Zalta (2001) nos apresenta uma excelente revisão de literatura na evolução deste conceito ao longo dos anos, atualizando o trabalho clássico de (LOUX, 1972).

Se tivéssemos que apontar alguém na história da humanidade que revolucionou praticamente todas as áreas do conhecimento humano e que é o responsável pelo alicerce de várias ciências, certamente o escolhido seria Aristóteles. Seus conhecimentos em áreas como: Biologia, Ciências Naturais, Ética, Política, Metafísica, Lógica trouxeram contribuições, sem paralelo, na história do pensamento humano. Praticamente não existe uma área do conhecimento atual que não tenha recebido a sua influência. Em algumas disciplinas, como a lógica, por exemplo, suas contribuições foram tão importantes, que permaneceram sem grandes contribuições por 2 milênios após a sua morte.

Aristóteles (384 a 322 A.C) é considerado um dos os mais influentes filósofos gregos, ao lado de Sócrates e Platão, que transformaram a Filosofia Pré-socrática, construindo os principais pilares da Filosofia Ocidental. Augusto Comte chamou-o de “o príncipe eterno dos verdadeiros filósofos”, e por Platão foi chamado de “o leitor” (pela afeição com que lia e por se ter cercado dos livros dos poetas, filósofos e homens da ciência contemporâneos e anteriores) e, pelos pensadores árabes, de o “preceptor da inteligência humana”. Por ter estudado uma variada gama de assuntos, e por ter sido também um discípulo que em muito sentidos ultrapassou o mestre, Platão, é conhecido também como O Filósofo.

Um dos seus trabalhos mais importantes é conhecido como “Metafísica”. Uma curiosidade interessante sobre esta obra é que ela poderia ser considerada uma das primeiras “teses” no sentido moderno. Aristóteles inicia este trabalho com uma espécie de revisão de literatura, onde expõe e analisa criticamente as idéias de seus antecessores para em seguida formular a sua contribuição.

Rejeitou o mundo transcendente das idéias pensado por Platão, seu mestre, e elaborou um sistema filosófico abrangente, no qual a ciência tem um papel fundamental. Para compreender o mundo, Aristóteles buscava as propriedades das coisas. Em um sentido ontológico, a propriedade é uma característica definidora de um objeto, ou de uma classe de objetos (JAPIASSÚ; MARCONDES, 1996). Para compreender algum conjunto de objeto deve-se procurar suas propriedades:

“Assim, pois, as classes de coisas a respeito das quais e a partir das quais se constroem os argumentos devem ser distinguidas da maneira

que indicamos atrás. Os meios pelos quais lograremos estar bem supridos de raciocínios são quatro: (1) prover-nos de proposições; (2) a capacidade de discernir em quantos sentidos se emprega uma determinada expressão; (3) descobrir as diferenças das coisas, e (4) a investigação da semelhança. Os últimos três são também, em certo sentido, proposições, pois é possível formar uma proposição correspondente a cada um deles.(ARISTÓTELES, 1987)”



Figura 41: Platão e Aristóteles. Fonte: (RAFAEL, 1510)

Aristóteles analisa com mais detalhes propriedades e suas diversas formas. Em suma, esta consiste em conhecer quais são os “lugares comuns” da propriedade para se determinar se este predicado é ou não próprio (FERRATER MORA, 1969). Posteriormente, Porfírio¹ utilizou a doutrina de Aristóteles e elaborou dentro de sua teoria das cinco vozes ou predicáveis. FERRATER MORA (1969) nos apresenta que segundo Porfírio, existem 4 sentidos para o próprio:

1. O que pertence acidentalmente a uma só espécie, ainda que pertença a toda a espécie (exemplo: exercer a medicina para o homem)
2. O que pertence acidentalmente a a espécie inteira, sem pertencer a ela exclusivamente (exemplo: ser bípede para o homem)
3. O que pertence a toda uma só espécie, a ela toda e em um momento determinado (exemplo: Os cabelos ficarem brancos ao chegar a velhice)

¹Porfírio (c.232 a c.304), foi um filósofo neoplatônico, já apresentado com mais detalhes anteriormente.

4. O que pertence a uma só espécie, a toda ela e sempre (exemplo: o sorriso no homem)

Porfírio afirmou que existe algo na noção de propriedade que é comum as demais vozes: *ser um termo atribuído a uma pluralidade de objetos*. Posteriormente, os Escolásticos basearam-se na doutrina de Porfírio e trataram a noção de propriedade tanto lógica como ontologicamente.



Figura 42: Porfírio retratado no Liber de herbis (s. XIV). Fonte: (WAREPEDIA, 2009)

A definição de propriedade² que será usada neste trabalho será: *Propriedade é uma característica ou atributo próprio a um determinado elemento ou a um conjunto de elementos*.

8.3 Propriedades das Redes

“É da mais alta importância, na arte da dedução, distinguir em determinados fatos os que são incidentais e os que são fundamentais. De outra forma, a energia e a concentração se dissiparão, em vez de se concentrarem.”

Sherlock Holmes (DOYLE, 2005)

²Proposta pelo autor da tese.

Na revisão de literatura sobre redes, não foi encontrado nenhum material que cobrisse exaustivamente as suas propriedades. Para a elaboração desta seção houve a necessidade de realizar uma compilação de diversas fontes e elaborar uma conceituação e classificação própria. As propriedades listadas a seguir foram compiladas durante esta pesquisa. Inicialmente, é possível observar na classificação das redes basicamente dois tipos gerais de propriedades: universais e contingenciais.

- Propriedade Universal: Aplicável a todas as redes.
- Propriedade Contingencial: Esta propriedades depende das características da rede, de seu porte e de sua dinâmica. Normalmente estas propriedades são encontradas em grande parte das redes do mundo real. É importante ressaltar que estas propriedades não se aplicam de maneira irrestrita a todas as redes, mas espelham o comportamento da maioria das redes encontradas na natureza e das redes de grande porte criadas artificialmente pela humanidade.

8.3.1 Propriedades Universais

Agora será exposto algumas propriedades encontrada em todas as redes.

Estrutura

Estrutura é a propriedade que é definida a partir da forma de organização dos nós em uma rede. As redes possuem uma determinada estrutura e não são apenas uma coleção aleatória de nós e ligações. A estrutura das redes afeta o seu comportamento, como pode ser observada em vários fenômenos do mundo real. Na Figura 43 é possível observar algumas das estruturas possíveis.

Autonomia

Uma rede é composta por elementos autônomos interligados. Não existe um planejamento central que coordene o seu funcionamento. O conjunto dos comportamentos de cada nó individualmente produz o comportamento da rede.

Dinamismo

O Dinamismo é a perspectiva temporal da evolução de uma de uma rede. No estudo da Ciência das Redes é possível observar uma preocupação com o comportamento dinâmico da de uma rede. Anteriormente, outros ramos da ciência se preocupavam apenas com os aspectos estruturais. Para compreender uma rede é necessário entender a evolução das características de uma rede no decorrer do tempo. Antigamente, no estudo da Teoria dos Grafos, era comum o estudo de redes imutáveis no tempo (isto pode ser considerado um caso particular da evolução temporal da rede onde o tempo=0).

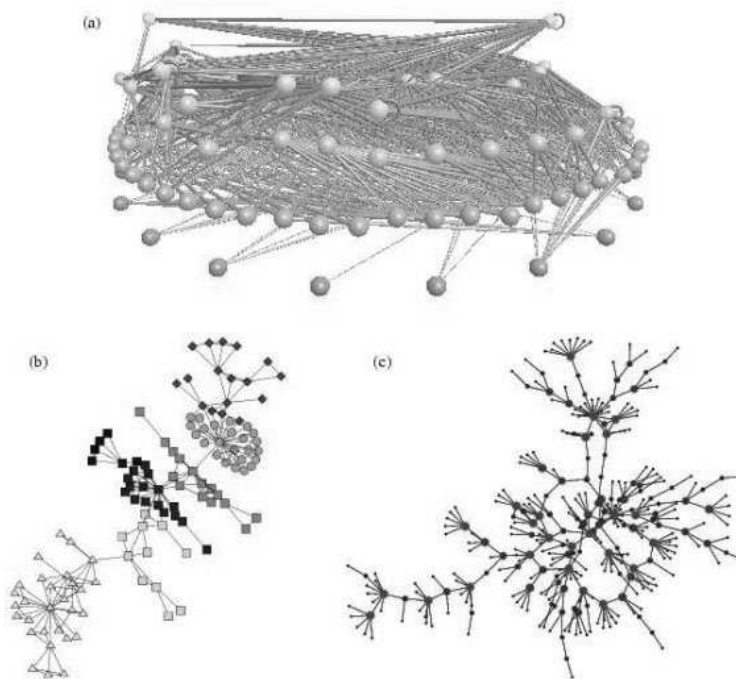


Figura 43: (a) Uma teia de alimentação com as interações predador-presa em um lago de água-doce (b) Uma rede de colaboração entre cientistas em uma instituição de pesquisa privada (c) Uma rede de contatos sexuais entre indivíduos Fonte:(NEWMAN, 2003)

Evolução Bottom-up É possível observar que as redes evoluem a partir de uma evolução *bottom-up*, isto é, de baixo para cima. Isto pode ser percebido a partir das propriedades acima. Como a rede é constituída de elementos autônomos e sem um controle centralizado, o seu crescimento inicia por meio de interações locais interagindo de forma a constituir estruturas globais.

Topologia

A arquitetura ou topologia de uma rede é uma propriedade que aparece no decorrer do tempo como resultado de interações entre nós autônomos. Lewis (2009) afirma que a arquitetura de uma rede é definida pelas forças Darwinianas que a moldam no decorrer do tempo. No capítulo de Revisão de Literatura foi visto algumas destas possíveis forças: acoplamento preferencial, aptidão do nó, dentre outras. A topologia seria uma variação da propriedade da Estrutura no decorrer do tempo.

Potência

A potência de um nó é proporcional ao seu grau de distribuição (número de ligações no qual este nó está conectado), influência deste nó (seu valor) e centralidade/proximidade deste nó. No caso de uma rede a sua força é proporcional a força de seus nós e das suas ligações. Este

conceito fica melhor explicado por meio de exemplos: A influência de uma pessoa sobre o seu grupo depende de sua posição na rede, do seu número de colegas e da força da conexão entre esses colegas. A potência de uma determinada empresa depende do seu número de clientes, da sua posição na rede (se existe intermediários ou não) e da força de suas ligações com os clientes.

Navegação

É possível percorrer os caminhos entre os nós de uma rede. No experimento de Milgram, para o teste da hipótese do mundo pequeno apresentado na Revisão de Literatura, foi visto que ele fez circular uma carta entre a origem e o destino para descobrir a distância média entre as pessoas. Milgram parece não ter observado que um resultado importante de seu experimento não foi apenas descobrir que existiam caminhos curtos entre as pessoas, mas também que os indivíduos conseguiam descobrir estes caminhos. Kleinberg (2000a) e Kleinberg (2000b) observou inicialmente esta propriedade. Boccaletti *et al.* (2006) analisa as estratégias de navegação em redes apresentando uma revisão da literatura das técnicas existentes. Lima-Marques e Cavalcante (2008) apresenta esta propriedade para redes hipermedia.

8.3.2 Propriedades Contingenciais

Neste item estão ligadas propriedades que podem ocorrer nas redes. Nem todas estas propriedades ocorrem em todas as redes.

Emergência

Na Filosofia, na Teoria dos Sistemas, emergência é a maneira como padrões e sistemas aparecem a partir de uma multiplicidade de interações simples. Goldstein (1999) nos oferece todo um histórico sobre o conceito de emergência. Ele define este conceito como “o aparecimento de estruturas novas e coerentes, padrões, e propriedades durante o processo de auto-organização em sistemas complexos”. Um comportamento emergente ou propriedade emergente pode aparecer quando uma quantidade de entidades (agentes) simples operam em um ambiente, formando comportamentos complexos no coletivo. Fernandes (2000) afirma que a emergência consiste na ocorrência de fenômenos dinâmicos e imprevisíveis dentro do sistema como um todo, que resultam da consequência de regras simples que são obedecidas pelos componentes que formam este todo. No contexto de redes, uma propriedade de rede é dita emergente quando ela se altera em um fator de 10 vezes como consequência de uma rede dinâmica adquirindo estabilidade. É possível observar que a emergência ocorre em um nível macro, como consequência do arranjo dos seus microcomponentes. Esta é uma propriedade importantíssima das redes mas que é normalmente ignorada pelos engenheiros responsáveis pela infraestrutura de rede. Entender o comportamento emergente pode levar a antevisão de problemas no lugar de uma mera reação aos mesmos (FRIESZ, 2007). Na revisão de literatura já foi visto o conceito de aninhamento. Esta

idéia é de fundamental importância para a compreensão dos fenômenos emergentes existentes nas redes.

Podem-se observar demonstrações deste fenômeno no fascinante livro de Thomas Schelling, premio nobel em economia. Ele escreveu o clássico livro *Micromotives and Macro Behavior* (SCHELLING, 1978). Neste livro, Schelling defende a idéia que comportamentos que ocorrem em um nível menor (micro) podem levar a comportamentos completamente diferentes em um nível maior (macro). Ele nos mostra alguns exemplos como o da escolha de uma moradia. Neste caso se pessoas completamente tolerantes no quesito racial, escolhendo livremente as suas casas, podem constituir bairros com enorme segregação. Neste exemplo, Schelling nos apresenta um caso onde um comportamento em um nível micro pode ocasionar consequências opostas no nível macro.

Estabilidade

Uma rede é estável se a taxa de mudança no decorrer do tempo diminui ou é amortecida dentro de valores finitos.

Transitividade ou ***Clustering*** (Agrupamentos)

Observa-se a presença de agrupamentos em diversas redes do mundo real. Os agrupamentos são um claro desvio ao modelo aleatório nas redes. Em muitas redes se o vértice A está conectado ao vértice B e o vértice B está conectado ao vértice C, então existe uma grande probabilidade de o vértice A está também conectado ao vértice C. Para simplificar será utilizada a linguagem das redes sociais, um amigo do meu amigo é provavelmente também meu amigo. Esta transitividade pode ser observada nas redes com um alto número de triângulos na rede (NEWMAN, 2003).

Efeito mundo-pequeno

Na revisão de literatura já foi apresentado a história e as propriedades do efeito mundo pequeno. A principal característica deste fenômeno é que a maioria dos pares de vértices presentes em uma rede parecem estar conectados por um caminho curto na rede. Para ilustrar esta propriedade será utilizado um jogo, em que a ligação entre dois matemáticos se define pela publicação conjunta de um artigo, e onde a figura central do jogo é o prolífico matemático Paul Erdős. Os dados obtidos a propósito deste jogo mostram que o número de Erdős, se estiver definido, é menor que 15; que 98% dos matemáticos têm este número menor que 8 e que a média dos números de Erdős é menor que 5. A Figura 44 apresenta uma pequena porção dessa rede.

Resiliência

Resiliência é a propriedade da rede permanecer com os seu nós interligados mesmo com a retirada de vários nós de uma rede. Pode-se ver um exemplo desta propriedade na Figura 45. Esta propriedade é importante para a sobrevivência de diversos organismos vivos, por exemplo.

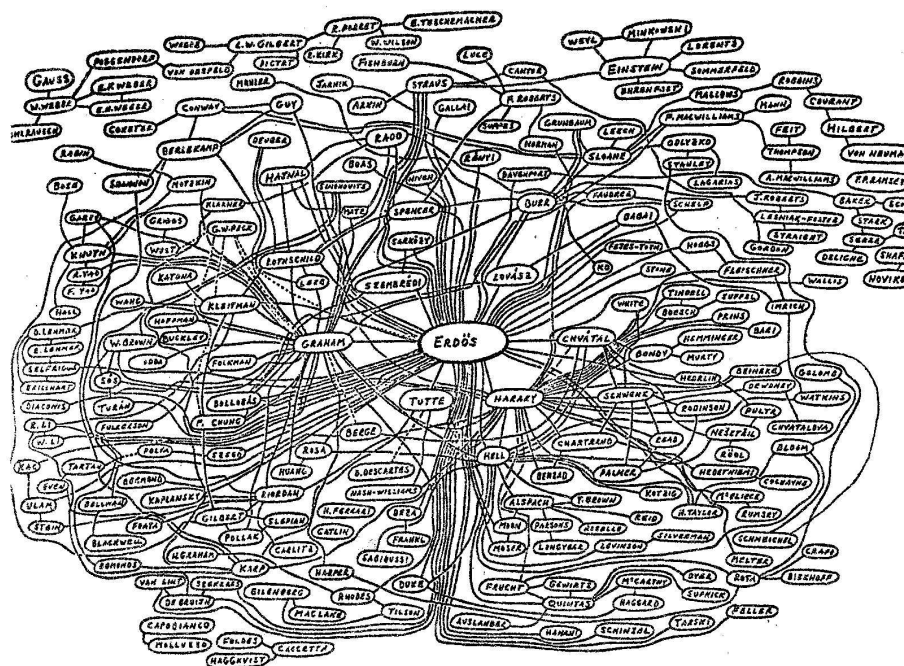


Figura 44: Uma porção do grafo de colaboração - Erdos. Fonte: (OAKLAND UNIVERSITY, 1979)

No caso de falhas no processo de reprodução celular, os organismos não são afetados.

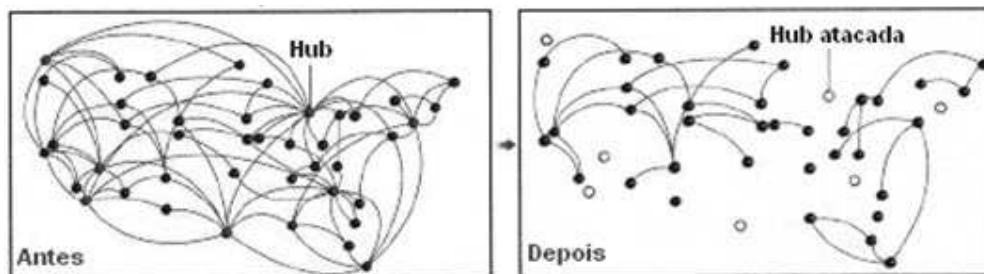


Figura 45: Em algumas redes 80% dos nós são retirados e os 20% restantes permanecem conectados. Fonte: (BARABÁSI, 2003)

Estrutura de Comunidade

Para ilustrar esta propriedade será utilizado o caso das redes sociais. Wasserman e Faust (1994) afirma que esta propriedade é apresentada em diversas redes sociais. Nestas redes é possível observar vértices que apresentam uma grande densidade de ligações entre eles e uma pequena densidade de ligações entre os grupos. Isto ocorre porque as pessoas tendem a se agrupar em grupos por linhas de interesse, afinidade, idade, endereço, etc. Esta não é uma propriedade apenas das redes sociais. Diversas redes do mundo real apresentam esta estrutura (NEWMAN, 2004). Para ilustrar é possível citar Wellman *et al.* (1996) que expande o conceito de

comunidade para redes de computadores e Girvan e Newman (2002) apresentam esta propriedade nas redes biológicas. Na Figura 46 observa-se um exemplo da formação de comunidades em uma rede.

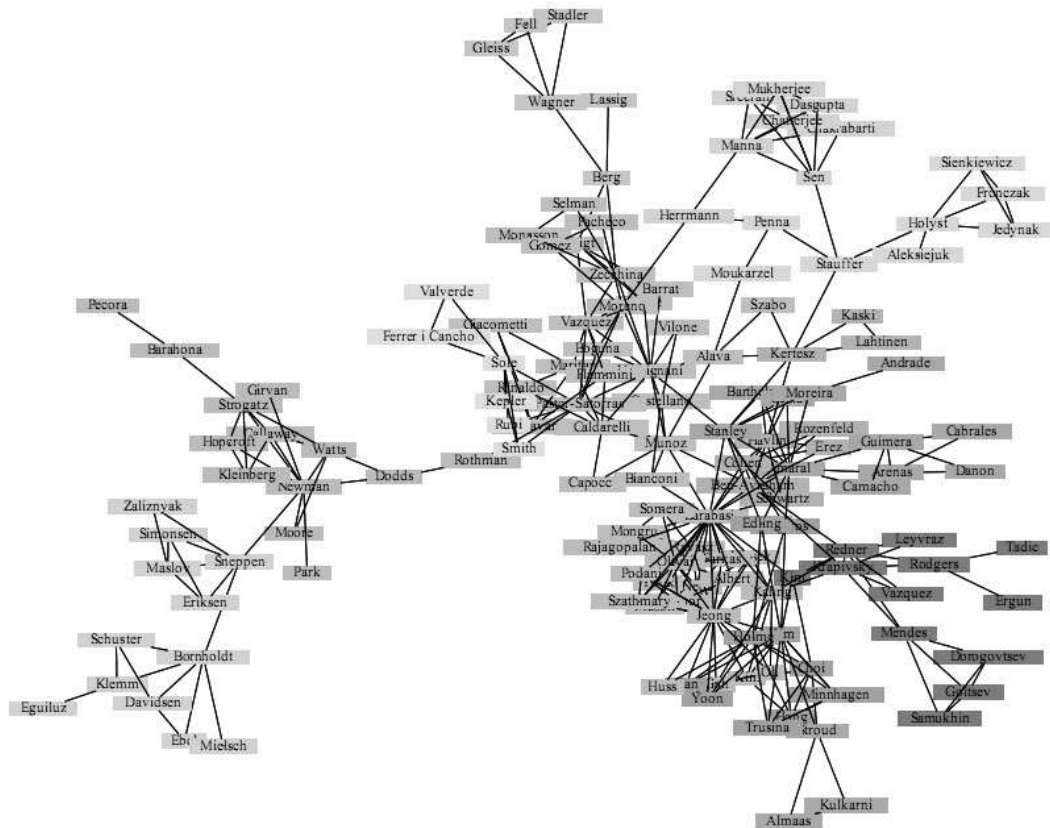


Figura 46: Exemplo da formação de comunidades em uma rede. Rede de co-autoria entre Físicos que publicaram artigos sobre Redes Complexas. Fonte (NEWMAN; GIRVAN, 2004)

Padrões de misturação

Este conceito refere a tendência sistemática de um tipo de nó em uma rede se conectar com outro de outro tipo. Por exemplo, nós que tendem a se ligar com outros que são muito similares ou diferentes. Um padrão típico encontrado na ecologia, epidemiologia e nas ciências sociais é a “Mistura Associativa” que refere-se a tendência dos nós de se conectarem a outros com propriedades similares. Por outro lado, a “Mistura Disassociativa” é a tendência apresentada por alguns nós de se ligar a nós que tenham diferentes propriedades ou atributos (BARRAT; BARTHELEMY; VESPIGNANI, 2008). A análise do padrão em uma rede pode nos fornecer importantes informações sobre a rede. Para ilustrar com um exemplo, Ford, Sohn e Lepkowski (2002) analisaram os padrões de relacionamento sexual de adolescentes americanos para identificar a razão do alto índice de crescimento de doenças sexualmente transmissível nesta parcela da população e conclui que o grande número de adolescentes que tem relações sexuais com pessoas de diferentes

características cria pontes para a infecção entre grupos diferentes.

Grau de Distribuição em forma de lei-de-potência

Já foi observado na literatura que redes com uma distribuição em forma de lei de potência constituem-se nas chamadas redes livre-de-escala (ex: rede de citações de artigos científicos). A observação desta características em várias redes surpreendeu diversos cientistas acostumados com a distribuição normal encontrada de maneira ubíqua em outras estruturas da natureza. Em uma rede com o grau de distribuição em forma de lei-de-potência convivem em uma mesma rede nós que estão ligados a poucos outros e nós que estão ligados a milhões de outros. O micro convive com o macro.

Motivos (padrões)

Segundo o Houaiss *et al.* (2007), o verbete “motivo” é definido como “fragmento melódico ou rítmico que unifica uma composição tema principal e/ou recorrente que, numa obra de arte, estabelece um padrão. Esta foi a melhor tradução encontrada para o termo em inglês *motifs*. Motivos são blocos estruturantes que se repetem ao longo da rede. Milo *et al.* (2002) nos apresenta a formação de padrões de interconexão ocorrendo em redes complexas em número significativamente maior que em redes randômicas. Estes “motivos” foram encontrados em redes que de campos diversos, tais como: a bioquímica, neurobiologia, ecologia e engenharia.

8.3.3 Resumo

Pode-se observar na Figura 47, um resumo das características apontadas anteriormente. Ela nos possibilita visualizar algumas das propriedades encontradas nas redes compiladas e agrupadas oriundas de diversas fontes de pesquisa.

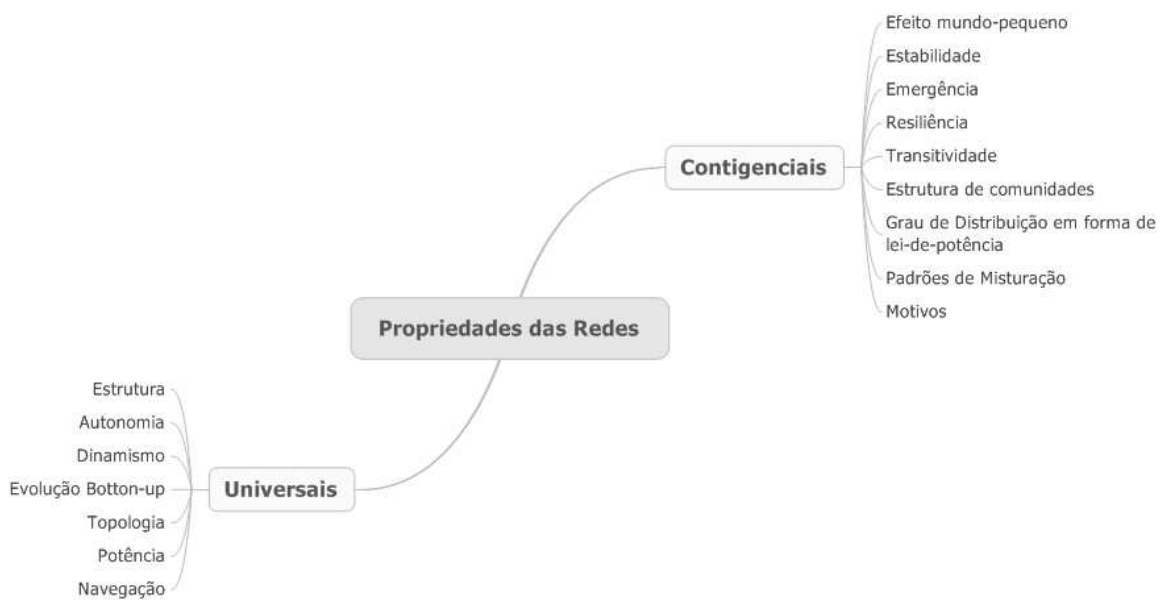


Figura 47: Várias das propriedades das redes encontradas na literatura.

9 *Desenvolvimento do Modelo*

“Estamos vendo coisas agora que nunca foram vistas antes e estamos apenas aprendendo a interpretá-las”

Thomas Banchoff (BANCHOFF, 1990)

NESTE capítulo será feita uma rápida revisão sobre as propriedades das redes, estudada pela Ciência das Redes, da estrutura conhecida como rizoma e das propriedades encontradas no pensamento complexo, também conhecidos como operadores do pensamento complexo. Isto será feito de forma a poder identificar as similaridades e poder analisar as propriedades fundamentais que são comuns a estas estruturas. A partir desta associação será definida o modelo proposto para uma base epistemológica para a Ciência das Redes.

9.1 Propriedades

Anteriormente, na seção 8.2, página 109, foi apresentada a definição de propriedade. Igualmente, foi visto em maiores detalhes: as propriedades do Rizoma (Seção 6.5), Pensamento Complexo (Seção 5.1) e propriedades das redes estudadas pela Ciência das Redes (Capítulo 8).

Nesta seção serão recuperadas as propriedades destas estruturas buscando a identificação de um conjunto de propriedades essenciais para a Ciência das Redes. Para alcançar este objetivo será feita, inicialmente, uma recapitulação de suas propriedades fundamentais.

9.1.1 Características Consideradas na Elaboração do Modelo

Na Figura 48, Figura 49 e Figura 50 estão apresentadas de maneira sintética as propriedades do Rizoma, Pensamento Complexo e da Ciência das Redes, apresentadas anteriormente.

Será iniciada agora uma análise em busca das semelhanças entre as propriedades destas estruturas. É importante observar que sabe-se que existem diferenças entre os conceitos agrupados, mas buscou-se sempre encontrar a idéias-chave que pudesse associar os elementos. É conhecido

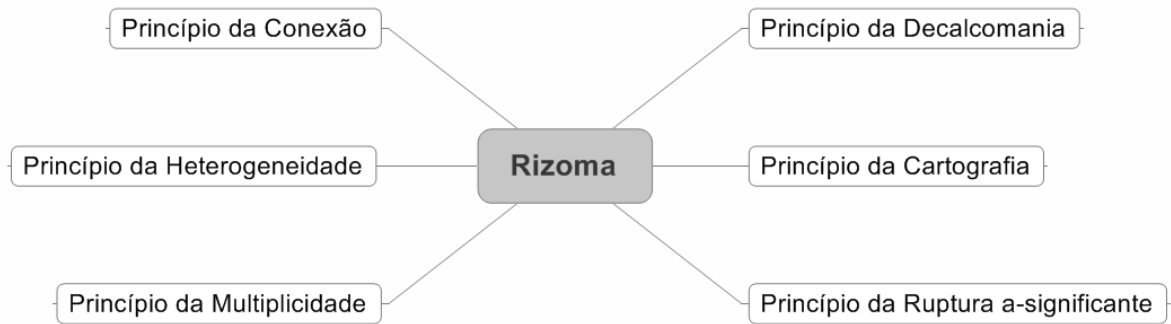


Figura 48: Propriedades do Rizoma



Figura 49: Operadores do Pensamento Complexo

que muitas vezes existirão até diferenças categóricas entre as propriedades analisadas, porém como será possível observar, as semelhanças são relevantes.

9.2 Bases Teóricas para a Criação do Modelo

9.2.1 Isomorfismo

Esta busca de características comuns entre diversos campos do conhecimento que está sendo empreendida neste trabalho é conhecido como *Isomorfismo*¹ (mesma forma). Este conceito é usado na Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1973). Bertalanffy criticou a concepção usualmente aceita de que o mundo é dividido em diferentes áreas, como Matemática, Física,

¹É importante destacar que o conceito de Isomorfismo que está sendo usado neste texto é o definido na Teoria Geral dos Sistemas. O leitor não deve confundir como o conceito de Isomorfismo usado na Matemática.



Figura 50: Propriedades da Ciência das Redes.

Química, Biologia, Psicologia, dentre outros. Ao contrário, propôs que se deve estudar sistemas globalmente, de forma a englobar todas as suas interdependências, pois cada um dos elementos, ao serem reunidos para constituir uma unidade funcional maior, desenvolvem qualidades que não se encontram em seus componentes isolados.

Vários sistemas apresentam padrões semelhantes apesar de suas diferenças de composição e de natureza. A Teoria Geral dos Sistemas afirma que a existência de leis de estruturas semelhantes em diversas áreas, possibilita a utilização de modelos mais simples e mais conhecidos para descrever fenômenos mais complexos e de difícil abordagem. Por meio do Isomorfismo torna-se possível mover princípios de campo da ciência para outro, não havendo assim a necessidade de duplicar, triplicar, quadruplicar o descobrimento dos mesmos princípios em áreas isoladas do conhecimento. Com o Isomorfismo, os mesmos conceitos podem se aplicar a diferentes sistemas tais como: células, cérebros, máquinas, sociedades.

Será utilizado o Isomorfismo para identificar características das propriedades gerais da Ciência das Redes que fundamentem a busca de bases epistemológicas para esta ciência.

9.2.2 Estruturalismo e a Busca dos Invariantes

Claude Lévi-Strauss foi um antropólogo, professor e filósofo francês, considerado um dos grandes intelectuais do século XX. Foi um dos fundadores da Teoria Estruturalista. Esta teoria está fundamentada no pressuposto de que os fenômenos, embora variáveis, possuem *invariantes*,

ou essência, supratemporal, supraespacial, suprassocial, que se constitui a base das variações (LÉVI-STRAUSS, 1982). A busca da essência dos fenômenos se constitui em um dos mais antigos ideais da sociedade e dá alento a muitas teorias sobre o comportamento geral (MERLEAU-PONTY, 1975). O estruturalismo procura chegar ao cerne do problema por meio da eliminação do que é variável e superficial. Lévi-Strauss nos auxilia a compreender melhor conceito:

“A Ciência apenas tem dois modos de proceder: ou é reducionista ou é estruturalista. É reducionista quando descobre que é possível reduzir fenômenos muito complexos, num determinado nível, a fenômenos mais simples, noutros níveis. Por exemplo, há muitas coisas na vida que podem ser reduzidas a processos físico-químicos, que explicam parcialmente essas coisas, mas não totalmente. E, quando somos confrontados com fenômenos demasiado complexos para serem reduzidos a fenômenos de ordem inferior, só os é possível a abordagem estudando as suas relações internas, isto é, tentando compreender que tipo de sistema original formam no seu conjunto. Isto é precisamente o que tentámos fazer na Lingüística, na Antropologia e em muitos outros campos. É certo - e vamos personalizar a Natureza para efeitos de raciocínio - que a Natureza apenas dispõe de um número limitado de procedimentos e que os tipos de procedimento que utiliza a um certo nível da realidade são susceptíveis de aparecer a outros níveis. O código genético é um bom exemplo; é sabido que, quando os biólogos e os geneticistas experimentaram dificuldades em descrever o que tinham descoberto, não encontraram melhor que ir pedir emprestada à Lingüística a sua linguagem, e passar então a falar de palavra, de frase, de acento, de sinais de pontuação, e assim por diante. Não quero dizer que seja a mesma coisa; é evidente que não é. Mas é o mesmo tipo de problema surgindo em dois níveis diferentes da realidade” (LÉVI-STRAUSS, 1989, p. 17 e 18).

O mesmo princípio adotado por Lévi-Strauss é usado neste trabalho para propor um modelo de propriedades básicas para a “Ciência das Redes”. Este conceito nos ensina a procurar as estruturas essenciais de um determinado objeto de estudo. Isto foi associado ao conceito de Isomorfismo para “transplantar” características entre diferentes áreas do saber.

9.3 **Elaboração do Modelo**

A partir do embasamento teórico acima exposto, desenvolver-se-á um modelo que possa servir de subsídio epistemológico para a Ciência das Redes. Isto será feito por meio da busca de invariantes e isomorfismos entre o Rizoma, Pensamento Complexo e Redes.

É importante frisar que a terminologia usada foi praticamente toda recriada neste trabalho. O objetivo desta ação foi o da necessidade de precisão em expressão de novos conceitos sem amarras da classificação tradicional. O outro objetivo foi o de evitar confusões com definições anteriores destes termos.

Foram desenvolvidas 6 propriedades básicas que constam do modelo:

- Heteroconexidade
- Recorribilidade
- Propriedade *Matryoshka*
- Propagabilidade
- Adaptabilidade
- Autogovernança

Estas propriedades serão desenvolvidas nas subseções seguintes.

9.3.1 Heteroconexidade

A heteroconexidade foi modelada a partir do princípio da heterogeneidade encontrada no Rizoma, do operador dialógico encontrado no Pensamento Complexo e nos padrões de misturação da Ciência das Redes, conforme é possível observar na Figura ??.

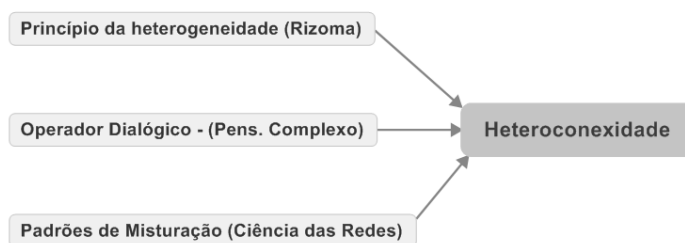


Figura 51: Heteroconexidade.

Inicialmente é possível observar que as três estruturas apresentam propriedades de conectar elementos de diferentes naturezas, esta característica comum a estas estruturas será chamada de Heteroconexidade. Esta nova expressão reflete melhor as duas características-chave desta propriedade: hetero vem do grego *heteros* - diferente + conexão (vem do grego *conexus* - ligado, unido). É conhecido que os padrões de misturação² usado nas redes também analisa a conexão de elementos semelhantes.

²É conhecido que os padrões de misturasões foi apresentado como uma propriedade contingencial. Neste trabalho procura-se uma base epistemológica que contenha todas as propriedades que possam ser utilizadas como base para as redes. O importante é que a base desenvolvida possa ser usada para todas as redes e não o contrário, que todas as redes possuam todas as propriedades do modelo.

Esta propriedade espelha melhor estruturas encontradas no mundo atual onde existem a conexão de diferentes elementos e estruturas. Anteriormente, na modelagem de um problema, as disciplinas científicas procuravam estruturas homogêneas para simplificar o seu entendimento. Na Teoria dos grafos, por exemplo, praticamente só encontra-se estruturas homogêneas.

Em uma rede existe a interligação entre diversos elementos vivos e não-vivos. O homem para a sua sobrevivência, por exemplo, está ligado a uma cadeia alimentar com outros animais, com micro-organismos e com o solo. Se prestarmos atenção às redes do nosso mundo, será encontrado o princípio da heteroconexidade na grande maioria das redes.

9.3.2 Recorribilidade

Este termo foi criado devido a confusão existente na literatura sobre o termo recorrência. Não há uma padronização sobre o conceito de recorrência, sendo muitas vezes na literatura usado como sinônimo para recursividade. Devido a estes problemas terminológicos este termo foi criado. A palavra recorrer vem do idioma Latim, *recurrere*, “correr para trás; retroceder”. Surgiu no Século XIV. O termo recorrência apareceu no Século XIX. Neste trabalho, todas as vezes que acontecer uma repetição estará presente a propriedade da Recorribilidade, por isto este termo abrangerá laços (repetições) e recursões e hologramas.

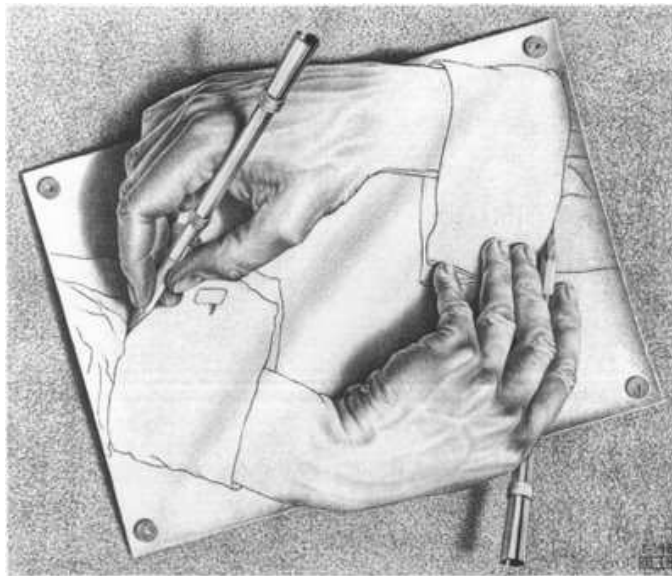


Figura 52: Exemplo gráfico de Recorribilidade - Mão desenhando - Escher. Fonte: (HOFSTADTER, 2001).

A Recorribilidade é uma das propriedades mais importantes, devido a seu poder de criação de estruturas complexas, ou seja, a repetição de um determinado padrão (muitas vezes bastante simples), tende a formar estruturas incrivelmente complexas.

Na Figura 52 é possível visualizar graficamente a idéia de recorrência. Nesta famosa obra de M. C. Escher, a mão direita desenha a mão esquerda que desenha a mão direita e assim sucessivamente.

Na sua obra magistral *Gödel, Escher e Bach - Um entrelaçamento de gênios brilhantes*, (HOFSTADTER, 2001) descreve a busca da inteligência neste processo de repetições e recursões. Por este processo se escaparia das limitações descritas por Gödel. Estas limitações serão explicadas abaixo:

O Teorema da Incompletude de Gödel foi uma das descobertas mais importantes do Séc. XX. Em 1931, Kurt Gödel, então um jovem matemático de 25 anos, publicou em um periódico alemão o artigo intitulado *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme* (Sobre as Proposições Indecidíveis dos Principia Mathematica e Sistemas Correlatos) (GÖDEL, 1931). As conclusões contidas em tal artigo são um divisor de águas na história da lógica e da matemática: sistemas dedutivos como a aritmética não podem ser completamente axiomatizados e quaisquer métodos que utilizemos para demonstrar a consistência desses sistemas serão tão complexos que sua consistência fica tão aberta a dúvidas quanto a dos próprios sistemas. Resumindo, este teorema diz que se se adotar para a aritmética um sistema formal (Gödel inicia este trabalho descrevendo a aritmética de Peano), se esse sistema for consistente existe uma proposição que é verdadeira e não-demonstrável no sistema. Desse resultado segue-se ainda um segundo teorema, agora acerca da consistência do sistema, segundo o qual não é possível realizar uma demonstração da consistência do sistema formal recorrendo-se apenas aos meios do próprio sistema (BRANQUINHO; MUCHO; GOMES, 2006).

A Recorribilidade é uma das propriedades mais importantes para a descrição e entendimento da complexidade do nosso mundo. O trecho abaixo ilustra a importância deste conceito:

“A enumeração recorrente é um processo em que coisas novas emergem de coisas antigas por meio de regras fixas. Parece haver muitas surpresas em tais processos - por exemplo, a imprevisibilidade da seqüência Q . Poderia parecer que que séries recorrentemente definidas desse tipo possuem alguma espécie de complexidade de comportamento inerentemente crescente, de modo que quanto mais você avança, mais imprevisíveis elas se tornam. Levado um pouco mais longe, esse tipo de pensamento sugere que sistemas recorrentes devidamente complicados poderiam ter força suficiente para romper com quaisquer padrões predeterminados. E não é essa uma das propriedades definidoras da inteligência? Em vez de apenas considerar programas compostos de procedimentos que podem recorrentemente chamar a si próprios, por que não chegar à sofisticação de inventar programas que possam modificar a si próprios - programas que possam agir sobre programas, ampliando-os, aperfeiçoando-os, generalizando-os, reparando-os e assim por diante? Esse tipo de “recorrência entrelaçada” provavelmente se encontra no cerne da inteligência” (HOFSTADTER, 2001)

Essa abordagem de Hofstadter parece fundamental para o entendimento do comportamento de uma rede complexa. Apesar de no texto citado Hofstadter estar se referindo a algoritmos, pode-se por Isomorfismo utilizar esta definição para inferir sobre os sistemas complexos de uma maneira geral. A Recorribilidade pode produzir um comportamento complexo. Como exemplo, pode-se imaginar que o complexo corpo humano foi produzido a partir da Recorribilidade de reprodução das células de um zigoto³.

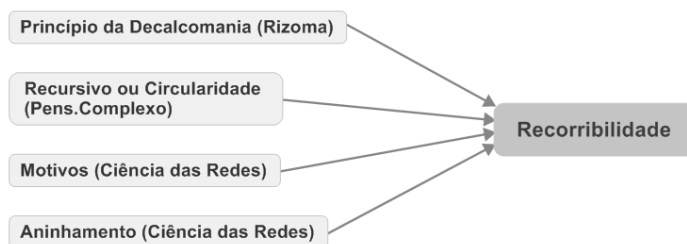


Figura 53: Recorribilidade.

A recorribilidade foi modelada a partir do princípio da decalcomania encontrada no Rizoma, do operador recursivo encontrado no Pensamento Complexo e na propriedade de Aninhamento e Motivos na Ciência das Redes, conforme é possível observar na Figura ??.

A Recorribilidade está na base da vida e da inteligência, sendo uma propriedade fundamental para as redes.

9.3.3 Propriedade *Matryoshka*

A propriedade *matryoshka* foi modelada a partir do conceito Multiplicidade do Rizoma, do operador hologramático encontrado no Pensamento Complexo e na Emergência encontrada na Ciência das Redes, conforme é possível observar na Figura 54. É

A *matryoshka* (boneca russa) tornou-se um verdadeiro ícone nacional da Rússia, souvenir obrigatório na bagagem de todos os estrangeiros que visitam o país. Seu nome deriva-se do nome feminino russo “Matryona”. Trata-se de uma boneca de madeira (normalmente de tília) que abre ao meio e tem dentro outra menor igual, que por sua vez contém outra que também abre com mais uma, igualmente recheada com outras cada vez menores, numa seqüência que varia de cinco, o número mais comum e tradicional, a trinta ou mais. Na Figura 55 pode-se ver um exemplo de um corte transversal em uma *matryoshka*.

Para aumentar a precisão desta definição, esta propriedade acontecerá, no caso de uma rede, quando observar-se que um nó que compõe uma rede de nível superior, é constituído por outra

³Célula que se forma após a fusão do óvulo com o espermatozóide.

Figura 54: Propriedade *Matryoshka*

Figura 55: Corte transversal em uma Matryohsha (boneca russa). Fonte: Adaptada de (LEBEDEV, 2009).

rede de nível inferior, conforme é possível observar na Figura 56. Neste caso, cada nó da rede de ordem superior é constituída de uma rede de ordem inferior. Um erro usual é considerar que pode-se chegar a propriedade *Matryoshka* por recursividade. Isto não é possível por se tratar de elementos de categorias diferentes, ou seja os componentes deste subsistema não podem se ligar diretamente aos nós do sistema maior.

Neste trabalho, a propriedade *Matryoshka* é o aninhamento de estruturas que possibilitam uma uma visão aninhada de um sistema. Pode-se generalizar que para praticamente quaisquer elementos em rede de um sistema formará um novo sistema.

O termo “aninhamento” **não** mostra-se adequado para o uso em redes. Este termo tem uma forte tradição na área da Ecologia e com significado relacionado a interação entre as espécies. Usá-lo no contexto de redes pode levar a equívocos conceituais. Esta foi a razão de criarmos este

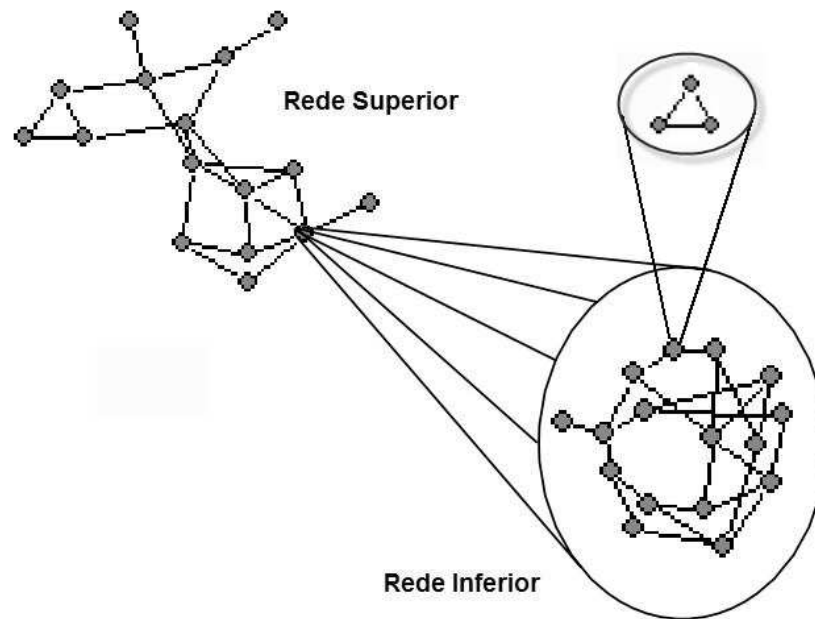


Figura 56: Propriedade Matryoshka. Fonte: Adaptado de (CSERMELY, 2006).

novo termo.

9.3.4 Propagabilidade

Uma alteração em quaisquer dos seus elementos irá se propagar por todo o sistema. Popularmente esta característica é conhecida como efeito-dominó. A alteração de uma característica em um determinado nó afetará a rede. Um extremo da propagabilidade é o denominado efeito borboleta que afirma que um pequeno evento pode ter conseqüências imprevisíveis, pois o resultado final é determinado por ações interligadas de forma quase aleatória. Este efeito foi analisado pela primeira vez em 1963 por Edward Lorenz.

“O bater das asas de uma borboleta no Brasil pode provocar um tornado no Texas?”. Foi com essa pergunta que o meteorologista Edward Lorenz popularizou poeticamente o conceito central da teoria do caos, onde alterações minúsculas nas condições iniciais de um sistema dinâmico podem provocar conseqüências radicais em seu comportamento futuro, dificultando assim a sua previsibilidade. Na Figura 58, as curvas representam as condições iniciais diferindo minimamente. No início elas coincidem razoavelmente, porém divergem grandemente passado um certo número de iterações de cálculos.

Esta propriedade foi modelada a partir do Princípio da Ecologia de Ação encontrado no Pensamento Complexo e na propriedade da Emergência encontrada na Ciência das Redes, conforme

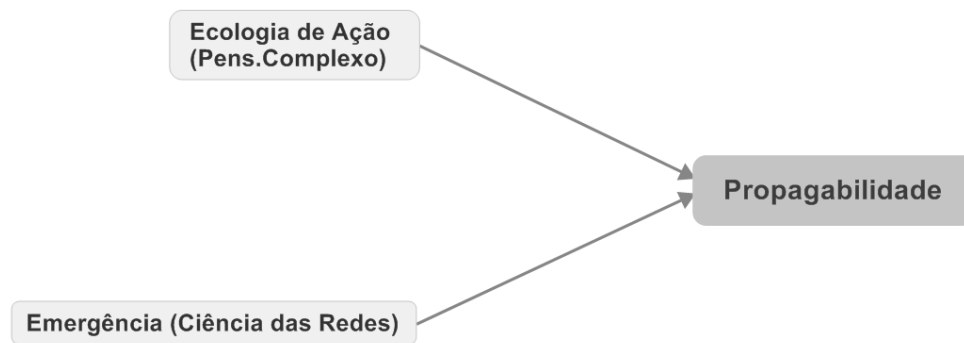


Figura 57: Propagabilidade.



Figura 58: Efeito Borboleta . Fonte:(STEWART, 1997)

é possível observar na Figura 57.

9.3.5 Adaptabilidade

Nas estruturas analisadas pode-se encontrar a necessidade de adaptação entre o elemento e seu meio. Esta propriedade dificulta as previsões em torno do comportamento do sistema. Nos organismos vivos a Teoria da Evolução, por exemplo, nos apresenta a sobrevivência dos mais aptos. Nesta relação, o sujeito afeta o objeto, que por sua vez afeta o sujeito e assim por diante, ou seja, a interação modifica ambos os membros desta relação de uma maneira muitas vezes imprevista.

No caso de uma rede, o comportamento dos nós irá se alterando no decorrer do tempo devido as transformações ocorridas no meio e na própria rede.

Esta propriedade foi modelada a partir do Princípio da Ruptura a-significante encontrada

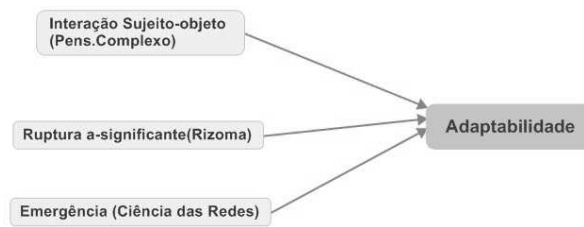


Figura 59: Adaptabilidade.

no Rizoma, do operador da interação sujeito-objeto encontrado no Pensamento Complexo e nas propriedades da Emergência encontrada na Ciência das Redes, conforme é possível observar na Figura 59.

9.3.6 Autogovernança

É possível observar que os elementos atuantes no sistema apresentam uma auto-organização, isto é, não existe um comando central que decide o comportamento do sistema. Cada elemento atua de forma isolada sem uma inteligência central que coordene todos. O interessante é que o resultado final aparenta um comportamento inteligente.

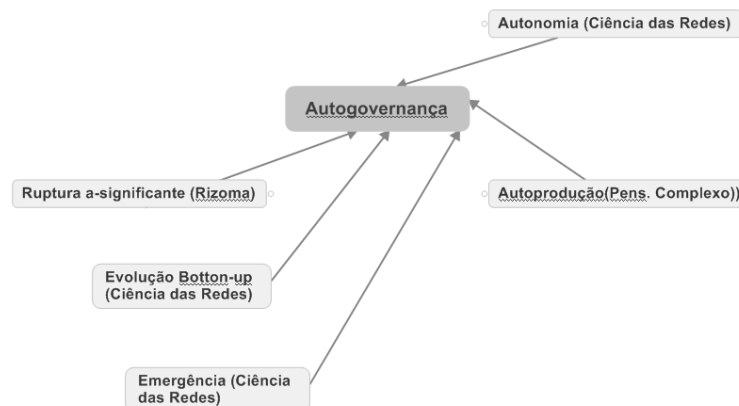


Figura 60: Autonomia.

Esta propriedade foi modelada a partir do princípio da Ruptura a-significante encontrada no Rizoma, no operador da Autoprodução encontrado no Pensamento Complexo e nas propriedades da Autonomia, Evolução Botton-up, Emergência encontrada na Ciência das Redes, conforme é possível observar na Figura 60.

9.3.7 Avaliação do Modelo

Neste trabalho não foram utilizadas técnicas para validação do modelo proposto. Observa-se, porém semelhança entre as propriedades encontradas e características dos sistemas complexos de uma maneira geral. O fato interessante e inspirador é que este resultado tenha sido alcançado, incluindo entres as estruturas analisadas, estruturas tão “anárquicas” como o Rizoma.

9.4 Conclusão

Considera-se que estas 6 propriedades, que constituem o modelo, são as que agregam as propriedades fundamentais das redes. É óbvio que houve alguma liberdade intelectual na associação de alguns conceitos. Procurou-se a idéia-chave que poderia realizar esta associação em busca das Estruturas e Isomorfismos que pudessem compatibilizar propriedades semelhantes em busca de propriedades canônicas para as redes.

As propriedades encontradas no final do processo apresentam-se como elementos importantes para o entendimento dos sistemas pois são as responsáveis pelo comportamentos dos mesmos. As propriedades apresentadas neste trabalho constituem-se na proposição dos alicerces epistemológicos para a Ciência das Redes, atingindo assim o objetivo geral deste trabalho, conforme indicado na Página 23. No próximo capítulo serão feitas mais observações sobre o modelo.

10 Considerações Críticas sobre o Trabalho de Pesquisa e Perspectivas da Ciência das Redes

Caminante, son tus huellas
 el camino y nada más;
 Caminante, no hay camino,
 se hace camino al andar. Al andar se hace el camino,
 y al volver la vista atrás
 se ve la senda que nunca
 se ha de volver a pisar. Caminante no hay camino
 sino estelas en la mar.

Antonio Machado - Poeta Espanhol (MACHADO, 1973)

As belas palavras de Antônio Machado representam o sentimento ao final deste trabalho. Este poeta diz que fazemos o nosso caminho ao andar. E isto é bastante apropriado para descrever um trabalho sobre uma ciência em construção, tal como a Ciência das Redes. No caminho percorrido até este ponto foi estudado, analisado e criticado as mais importantes obras (livros, artigos científicos, revistas, dentre outros.) sobre esta ciência. Atualmente, não foi encontrado um único livro sobre a Ciência das Redes em Português. Espera-se que a pesquisa realizada neste trabalho sirva como ponto de partida para outros trabalhos. Em seguida serão feitas algumas considerações críticas sobre esta pesquisa:

- A literatura encontrada sobre a Ciência das Redes foi em sua grande maioria obtida da Física e da Matemática. Necessita-se de mais transdisciplinaridade na análise desta ciência por lidar com estruturas fundamentais para inúmeros campos científicos.
- Uma contribuição deste trabalho foi a abordagem transdisciplinar ao problema. A transdisciplinaridade busca o conhecimento científico por meio das relações entre os diversos saberes (ciências exatas, humanas e artes) formando uma “democracia cognitiva”. Neste contexto, nenhum saber é mais importante que outro. Todos são igualmente importantes.

O assunto abordado nesta pesquisa encontra-se distribuído em vários nichos de pesquisa e muitas vezes com terminologia e jargões próprios. Procurou-se encontrar uma visão panorâmica para interligar estes diversos campos de pesquisa e a Ciência da Informação mostrou-se uma ciência adequada para a realização desta empreitada pois desde as suas primeiras definições na década de 1960, a Ciência da Informação delimitou o seu espaço agregando saberes oriundos de áreas ligadas à representação do conhecimento (biblioteconomia, linguística, dentre outras), às ciências sociais e às tecnologias da informação. É possível observar a evolução destas definições, por exemplo, em Borko (1968) e Saracevic (1970) no contexto internacional e em Pinheiro (2002) no âmbito nacional.

- Esta pesquisa divulgou para comunidade da Ciência da Informação os méritos de descobertas importantes para a Ciência das Redes e que muitos anos mais tarde foram redescobertas com estardalhaço em outros ramos da Ciência. É importante que a comunidade de Ciência da Informação saiba dos seus grandes feitos. Como fruto deste trabalho, foi publicado um artigo sobre este tema após a descoberta que não havia publicações sobre este feito na área da Ciência da Informação (CAVALCANTE; LIMA-MARQUES, 2008).
- A área de pesquisa deste estudo foi a Arquitetura da Informação. Esta lida com a estrutura da informação. A estrutura em rede é uma estrutura importante para o desenvolvimento e para o levantamento de Arquiteturas Informacionais.
- O fato de trazer a filosofia de Deleuze e Guattari para a Ciência das Redes foi importante. Este conceito “anárquico” e libertário do Rizoma traz novas perspectivas para a Ciência. Observa-se que o conceito de Rizoma funciona como um contraconceito. Foi criado como um contraponto a estrutura dominante e hierárquica e com perspectivas libertárias. Apesar, de na prática a idéia de um Rizoma com todas as características e propriedades descritas pelos seus autores seja de difícil implementação e não observada em estruturas naturais no mundo real, a sua filosofia é riquíssima e inspiradora para a consolidação da Ciência das Redes.
- O Pensamento Complexo veio somar-se a esta busca epistemológica. Sendo já o fruto de uma busca de uma busca de resposta aos problemas encontrados atualmente, em campos em que falharam várias outras abordagens, esta teoria está em sinergia com as demais teorias apresentadas e é útil para fornecer subsídios para esta nova ciência. Foi feito o histórico do conceito de árvore para mostrar que esta não é a única forma de organizar conhecimento.
- As teoria oriundas das redes de computadores também pode auxiliar esta nova ciência. Devido a complexidade apresentada por estas redes, foi convencionado no estudo de redes de computadores utilizar a divisão em camadas para facilitar a compreensão do todo e

flexibilizar o sistema por meio de modularização de seus componentes. Esta técnica deve ser aproveitada pela Ciência das Redes.

- A Filosofia foi uma aliada fundamental para este trabalho, principalmente a Filosofia da Ciência. É importante observar que sempre é estudado a Filosofia da Ciência, e não a “Ciência da Ciência”, pois a ciência em si não é um objeto científico e, sim, filosófico, porque o próprio fato de poder observar o mundo com um olhar científico é uma possibilidade metafísica. É importante a recordação de que o paradigma científico atualmente vigente é apenas uma tese metafísica e portanto filosófica. Se a Ciência das Redes necessita de uma consolidação deve-se trabalhar também em seus alicerces, ou seja, na Filosofia da Ciência, com o objetivo de consolidar esta nova ciência.
- Sabe-se que várias das características encontradas são características de sistemas complexos. A inovação deste trabalho foi o caminho percorrido para chegar a esta conclusão e a nova ótica na abordagem do problema, trazendo estruturas, tais como o Rizoma, que foram desenvolvidas de forma independente aos Sistemas Complexos.

O modelo criado foi um resultado importante para a criação de uma base epistemológica para as redes. Porém, é importante observar que este trabalho de tese não se constitui apenas no modelo. Parodiando Antônio Machado, o modelo foi o nosso objetivo, o trabalho de tese foi o nosso caminho. Fizemos o nosso caminho ao andar por áreas bastantes promissoras e ainda não consolidadas. A intenção é que o modelo proposto sirva como base estruturante para a Ciência das Redes. Não foi possível durante o decorrer desta pesquisa realizar estudos para a demonstração de validade e suficiência deste modelo. Isto será deixado como sugestão para trabalhos futuros que poderão utilizar nosso trabalho como ponto de partida para a construção de um novo caminho.

10.1 Perspectivas da Ciência das Redes

A Ciência das Redes pode trazer enormes contribuições para problemas cruciais que afligem o nosso mundo. No momento da escrita deste texto, o mundo está vivenciando uma pandemia da chamada gripe suína. Nunca antes uma epidemia foi monitorada com tamanha precisão e se pode observar em detalhes seu alastramento pelo mundo, apesar de todas as medidas de proteção que foram efetuadas. O entendimento da estrutura social como uma rede nos ajuda a entender o problema e procurar soluções de forma a minimizar o, muitas vezes inevitável, risco. Em um mundo onde cada vez se viaja mais, onde os aeroportos se comportam como um tipo mundo pequeno livre de escala, como apresentado neste trabalho, o crescimento rápido do número de casos parece ser inevitável. O desenvolvimento desta nova ciência necessita de esforços e do rompimento de velhas idéias.

Um fato ocorrido no momento da finalização deste trabalho (10 de novembro de 2009) foi um *blackout* que deixou sem energia 18 estados brasileiros e aproximadamente 80 milhões de brasileiros. Isto foi causado por um incidente ocorrido em um ponto da rede de distribuição. Esta falha propagou-se em rede e paralisou grande parte do Brasil. Investimento na Ciência das Redes devem ser feitos de forma a a melhorar o nível de segurança das redes existentes. Isto só pode ser realizado de forma eficiente se existe a compreensão das particularidades de uma rede. Todo apagão cria insegurança. O romano Catulo, no Século 1^o antes de Cristo, transmitiu assim esse sentimento: “Uma vez apagada a luz, some a confiança (*sublata lucerna nulla est fides*)”. O estudo das redes e de suas propriedades é de suma importância neste contexto (CAVALCANTE; LIMA-MARQUES, 2009).

No cerne deste estudo está a observação de que todas as coisas no mundo são associações. Isto já podia ser observado há mais de dois mil e quatrocentos anos quando o filósofo pre-socrático Anaxágoras afirmava:

“Nada nasce nem morre, mas consiste na mistura ou na separação das coisas. Com maior acerto, o nascer pode ser chamado de misturar-se; e o morrer de separar-se”(SOUZA, 1973).

Inicialmente, podemos pensar que a Ciência das Redes quando analisa uma estrutura social desvia demasiadamente o seu foco para o valor da estrutura de rede, em vez de focar as características do indivíduo. Embora esta ciência deixe espaço para que os indivíduos afetem o seu destino, ela argumenta que a estrutura da rede e das relações e vínculos com outras pessoas na rede são mais importantes. Como Charles Perrow (PERROW; WILENSKY; REISS, 1986) discute em seu clássico trabalho sobre organizações complexas, muitas teorias organizacionais evoluíram ao longo do tempo, na tentativa de explicar as estruturas de organização de seu tempo. A estrutura em rede pode ser analisada também como uma moderna estrutura organizacional, cuja principal valor é ser construída sobre a idéia de desintermediação. Desintermediação é a remoção do papel de intermediário em um processo ou cadeia de abastecimento, um proverbial “cortar o intermediário”. Modernas redes sociais estão sendo construídas em cima dessa idéia de desintermediação como os indivíduos se conectando diretamente, uns aos outros, especialmente com os grandes avanços das telecomunicações modernas e da Internet.

Nós ainda estamos aprisionados ao arcabouço de pensamento criado pela ciência do início do século passado. O problema que temos de solucionar, não é uma tarefa fácil. A questão primordial é: “como podemos atualizar nossa forma de raciocinar e ver o mundo em que vivemos com base em novos paradigmas, alinhados com o que a Ciência (no sentido lato) do século XXI está trazendo à tona?”. Não seria importante ao menos rever os nossos referenciais, alinhando-nos às novas descobertas da ciência (ao invés de continuarmos presos aos princípios científicos do começo do século)?.

A liberdade oriunda do conceito de rizoma funciona como contraponto ao modelo hierárquico de árvore. Historicamente o conceito de hierarquia tem impulsionado o ser humano a violência e a guerra. Após a passagem dos estágios de caça e coleta de alimentos para a agricultura, numerosas hierarquias: monarquia, hierarquia religiosa, patriarcado, dentre outras, proliferaram e começaram a dominar a cultura humana. O rizoma vem como um sopro de ar fresco para repensar as estruturas tradicionais.

Neste trabalho vimos que nenhuma rede construída pelo homem ou encontrada na natureza é completamente aleatória, ou seja, além da aleatoriedade, outros fatores parecem conduzir a sua evolução. Várias de suas propriedades, tais como, grau de distribuição, grau de correlação, comunidades, dentre outras, são utilizadas como instrumentos para o estudo desta.

A Ciência das Redes desempenha um papel fundamental no entendimento da complexidade. Não afirma-se com isso que a consciência e o estudo das redes sejam uma descoberta recente. Porém, somente recentemente estão disponíveis ferramentas computacionais que permitem a análise de grandes redes e percebendo com isso o tremendo impacto da estrutura de rede na compreensão dos sistemas. Embora existam muitos modismos na área da complexidade, um ponto parece claro, a interconexão dos sistemas é extremamente fundamental para o entendimento dos sistemas complexos, por isso o estudo das redes está aqui para ficar.

Apesar de todo “Marketing” que é empregado na divulgação de uma nova ciência e de todo entusiasmo inicial, é preciso olhar para trás buscando seus fundamentos e interrelacionar os novos conhecimentos com anteriores. Não é possível construir o novo ignorando o passado. Neste trabalho buscou-se resgatar as contribuições de pensadores da Ciência da Informação e de outras áreas que trouxeram contribuições que possam fundamentar esta nova ciência.

11 Conclusão

“Pois só pode merecer o nome de gênio alguém que assume como tema de suas realizações a totalidade, aquilo que é grandioso, as coisas essenciais e gerais, e não alguém que dedica os esforços de sua vida a esclarecer qualquer questão específica de objetos entre si.”

A. Schopenhauer

11.1 Considerações Gerais

Nas Seções 2.1 e 2.2 foram especificados os objetivos deste trabalho.

1. O objetivo geral deste trabalho foi o de buscar bases epistemológicas e transdisciplinares da “Ciência das redes”. Este objetivo foi alcançado. Os fundamentos desta ciência foram procurados em diversas áreas do conhecimento em busca de transdisciplinaridade. Foram analisados diversos pensadores e filósofos em busca destas bases epistemológicas.
2. Realizar um compilação didática e transdisciplinar sobre a Ciência das Redes. Após pesquisa em extensa bibliografia, procurou-se apresentar esta nova ciência de uma maneira transdisciplinar e didática. A grande maioria das publicações na área, com raríssimas exceções, são publicadas para nichos específicos. Até a data de fechamento deste trabalho (novembro de 2009), não temos conhecimento de nenhum livro sobre este assunto publicado em português. Existente a intenção de publicarmos este trabalho (ou partes dele) de forma preencher esta lacuna.
3. Buscar bases epistemológicas desta nova ciência e sua transdisciplinaridade. Como exposto no Capítulo 2, o trabalho situou-se no nível epistemológico. Procurou-se as bases filosóficas de forma a criar alicerces que fundamentem esta nova ciência. Os pensadores escolhidos foram principalmente da os segunda metade do século XX. Estes já refletiam em sua obra vários aspectos da complexidade.

4. Verificar a aplicabilidade desta bases. As propriedades encontradas que constam do modelo se assemelham aos encontrados nos sistemas complexos, isto nos leva a considerar que este é um modelo viável. Neste trabalho não foi realizada uma validação formal do modelo.

Outros produtos deste trabalho de pesquisa:

- O capítulo do Livro *Hipermídia um desafio da atualidade* e apresentação no terceiro Conahpa - Congresso Nacional de Hipermídia na Aprendizagem (ULBRICHT; PEREIRA, 2009).
- Artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação (LIMA-MARQUES; CAVALCANTE, 2008).
- Artigo publicado na *The Fourth International Forensic Computer Science*(CAVALCANTE; LIMA-MARQUES, 2009).

11.2 Contribuições deste Trabalho para o Estado da Arte

1. Análise da literatura sobre o estado da arte da Ciência das Redes e produção de texto organizando a literatura oriunda de várias áreas do conhecimento
2. Uso de uma abordagem transdisciplinar para a Ciência das Redes procurando enriquecer esta área do conhecimento do contribuições de diversas áreas do conhecimento
3. Resgate da importância histórica de pesquisadores da Ciência da Informação para a Ciência das Redes.
4. Trazer a Filosofia de Deleuze e Guattari para a Ciência das Redes
5. Proposição de um modelo básico para integrar as propriedades das redes
6. Publicação de artigos científicos e capítulo de livro nas área da Ciência da Informação, Hipermídia e Computação Forense.

11.3 Sugestões para trabalhos futuros

Devido este trabalho ter sido executado em uma área de pesquisa relativamente nova e de o trabalho se constituir de pesquisa básica, existe uma quantidade considerável de trabalhos futuros possíveis, serão citados alguns.

1. Validação do modelo proposto em relação à consistência e completude. Isto poderia ser feito via métodos formais ou algum outro método.
2. No decorrer desta pesquisa e principalmente devido aos resultados obtidos com este trabalho, propõe-se que este modelo poderia servir como base para uma arquitetura da informação. Um dos campos de pesquisa mais promissores na área da Informação é o estudo da estrutura, desenho ou arquitetura da informação como uma rede.
3. As propriedades encontradas no modelo e as propriedades encontradas nos seres vivos são bastante semelhantes. Uma dos trabalhos propostos seria a utilização do modelo para avaliar a semelhança entre as características dos seres vivos e das redes. A associação em rede apresenta-se como uma característica tão fundamental, tão elementar e definidora para os seres vivos que ousa-se afirmar: Rede é vida.

11.4 Comentários Finais

O estudo das estruturas em rede constituem-se na grande esperança para o entendimento de várias questões fundamentais para a humanidade. Chega-se a conclusão, ao final deste trabalho, que as redes não são apenas estruturas, mas, padrões funcionais. Observa-se este comportamento a partir das propriedades do modelo. O entrelaçamento destes padrões em diversos níveis e domínios resultam em sistemas altamente complexos.

A importância dos padrões na organização das estruturas de rede sejam elas orgânicas ou não-orgânicas são fundamentais para a compreensão do universo. Como, Norbert Wiener (considerado o pai da cibernética) afirmou sobre padrões (WIENER, 1973):

“Somos apenas redemoinhos num rio de águas incessantes. Não somos material que permanece, mas padrões que se perpetuam” .

O estudo da Ciência das Redes traz um nova ótica para a compreensão de fenômenos complexos e não pode ser objeto de estudo apenas de cientistas especializados. Devemos todos nós, aprender sobre as redes, usufruindo todo o conhecimento disponível sobre o que são, onde estão, como operam e quais são suas principais propriedades.

Referências

- ABBAGNANO, Nicola. *Dicionário de Filosofia*. 5a. ed. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora, 2007.
- ABRÃO, Bernadette Siqueira. *História da Filosofia - Coleção os Pensadores*. [S.l.]: Nova Cultural, 2004.
- ACZEL, Amir D. *Quais são suas chances ?* [S.l.]: Best-seller, 2007.
- AGUIAR, Sonia. *Produção compartilhada e socialização do conhecimento em rede: uma abordagem exploratória*. Agosto 2002. Comunicação apresentada no “II Seminário Nacional do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal Fluminense - Produção do Conhecimento e Educação: História, Utopias”.
- ALBERT, Réka; BARABÁSI, Albert-László. Diameter of the world-wide web. *Nature*, v. 401 (6749), p. 130, 1999.
- ALBERT, Reka; JEONG, Hawoong; BARABASI, Albert-Laszlo. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, v. 406, n. 6794, p. 378–382, July 2000.
- ANDERSON, Chris. *The Long Tail: Why the Future of Business Is Selling Less of More*. [S.l.]: Hyperion, 2006. Hardcover. ISBN 1401302378.
- ANGELIS, André Franceschi de. *Tutorial - Redes Complexas*. [S.l.], 2005.
- ARISTÓTELES. *Coleção Os Pensadores. ARISTÓTELES I*. São Paulo: Nova Cultura, 1987. Aristóteles ; seleção de textos de José Américo Motta Pessanha ; tradução de Leonel Vallandro e Gerd Bornheim da versão inglesa de W.A. Pickard.
- ARQUILLA, J.; RONFELDT, D.F. *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy*. [S.l.]: Rand Corporation, 2001.
- BACHELARD, Gaston. *A formação do espírito científico*. [S.l.]: Contraponto, 1996.
- BAKKALBASI, Nisa *et al.* Three options for citation tracking: Google scholar, scopus and web of science. *Biomedical Digital Libraries*, v. 3, n. 1, p. 7, 2006. ISSN 1742-5581. Disponível em: <<http://www.bio-diglib.com/content/3/1/7>>.
- BANCHOFF, T. *Beyond the third dimension: Geometry, computer graphics, and higher dimensions*. [S.l.]: WH Freeman & Co. New York, NY, USA, 1990.
- BARABÁSI, A.L. The architecture of complexity. *IEEE Control Systems Magazine*, v. 27, n. 4, p. 33–42, 2007.
- BARABÁSI, AL *et al.* Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Elsevier, v. 311, n. 3-4, p. 590–614, 2002.
- BARABÁSI, Albert-Laszló. *Linked : how everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life*. New York: Plume, 2003. ISBN 0452284392 (pbk.).

- BARABÁSI, A. L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. *Science*, Department of Physics, University of Notre Dame, Notre Dame, IN 46556, USA., v. 286, n. 5439, p. 509–512, October 1999. ISSN 0036-8075. Disponível em: <<http://view.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10521342>>.
- BARRAT, A.; BARTHLEMY, M.; VESPIGNANI, A. *Dynamical processes on complex networks*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2008.
- BELKIN, N.J. Anomalous states of knowledge as a basis for information retrieval. *Canadian Journal of Information Science*, v. 5, n. 1, p. 133–143, 1980.
- BELL, D.; ZALTA, E.N. Stanford encyclopedia of philosophy. In: _____. [S.l.]: Stanford University, 2001. cap. Properties.
- BENKLER, Yochai. *The Wealth of Networks: How Social Production Transforms Markets and Freedom*. New Haven, CT, USA: Yale University Press, 2006. ISBN 0300110561.
- BERTALANFFY, L. von. *Teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: [s.n.], 1973.
- BIANCONI, G.; BARABÁSI, A. L. Competition and multiscaling in evolving networks. *Europhys. Lett.*, v. 54, n. 4, p. 436–422, 2001.
- BÍBLIA. *Bíblia Sagrada*. [S.l.]: Editora Ave Maria, 1999.
- BJÖRNEBORN, Lennart. *Connecto ergo sum: visibilization, connectization, communitization and innovativization : phenomena regarding researchers? use of personal web pages and links*. Dissertação (Mestrado) — Copenhagen: Royal School of Library and Information Science, 1998.
- BOCCALETTI, S. *et al.* Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, v. 424, n. 4-5, p. 175–308, February 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physrep.2005.10.009>>.
- BOCCARA, N. *Modeling Complex Systems*. [S.l.]: Springer, 2004.
- BONDY, J.A.; MURTY, U.S.R. *Graph theory with applications*. [S.l.]: Macmillan London, 1976.
- BORGES, Jorge Luis. *História Universal da Infâmia*. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1989. Tradução de Flávio José Cardoso.
- BORKO, Harold. Information science: what is it? *American Documentation*, v. 19, n. 1, p. 3–5, 1968.
- BORNER, Katy; SANYAL, Soma; VESPIGNANI, Alessandro. Network science. *Annual Review of Information Science And Technology*, INFORMATION TODAY INC, 143 OLD MARLTON PIKE, MEDFORD, NJ 08055-8750 USA, v. 41, p. 537–607, 2007. ISSN 0066-4200.
- BORNHOLDT, Stefan; SCHUSTER, Heinz Georg. *Handbook of graphs and networks : from the genome to the internet*. 1st. ed. [S.l.]: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3527403361.
- BOSTON COLLEGE. *Social Network*. 2009. Sítio Web. <http://www.bc.edu/schools/law/library/services/facserv/edutech.html>. Acessado em dezembro de 2009.
- BOULDING, K.E. *The Image: Knowledge in Life and Society*. [S.l.]: University of Michigan Press, 1961.
- BRANQUINHO, João; MUCHO, Desidério; GOMES, Nelson Gonçalves. *Enciclopédia de termos Lógico-Filosóficos*. [S.l.: s.n.], 2006.

- BRAUN, Tibor. Hungarian priority in network theory. *Science*, v. 304, n. 5678, p. 1745b–, 2004.
- BRITANNICA, Encyclopaedia. *Encyclopaedia Britannica 2007 deluxe DVD*. 2007. Avanquest Publishing.
- BROOKES, Bertram C. The foundations of information science. *Journal of Information Science*, v. 2, n. 3-4, p. 125–133, 1980.
- BROOKS, Michael. Dangerous liaisons - did the inquisition fight heretics using the same science that we now use to control disease? *New Scientist - Edição do Reino Unido*, v. 179, n. 2408, p. 32–33, Agosto 2003.
- BUCHANAN, Mark. *Nexus : small worlds and the groundbreaking science of networks*. Primeira. New York: W.W. Norton, 2002. ISBN 0393041530 (hc).
- BURKE, Peter. *Uma história social do conhecimento: de Gutemberg a Diderot*. [S.l.]: Jorge Zahar Editor, 2003.
- CALLON, Michel. Is science a public good? *Science Technology and Human Values*, Cambridge, Mass.: MIT Press, c1978-, v. 19, n. 4, p. 395–424, 1994.
- CARVALHO, Edgard de ASSIS. Coleção grades educadores. In: _____. [S.l.]: Cedic Brasil, 2006. cap. Edgard Morin, p. 43–56.
- CASTANON, Gustavo. *Introdução à Epistemologia*. [S.l.]: E.P.U. - Editora Pedagógica e Universitária LTDA., 2007.
- CASTELLS, M. *A sociedade em rede - A era da informação economia, sociedade e cultura*. [S.l.]: Ed. Paz e Terra, 2003.
- CASTRO, Eduardo Viveiros de. Filiação intensiva e aliança demoníaca. *Novos Estudos - CEBRAP*, n. 77, p. 91–126, Março 2007.
- CASTRO, G.; CARVALHO, E.A.; ALMEIDA, M.C. Ensaios de complexidade. In: _____. Porto Alegre - RS: Sulina, 1997. cap. Complexidade e ética da solidariedade, p. 15–24.
- CASTRO, G.; CARVALHO, E.A.; ALMEIDA, M.C. Ensaios de complexidade. In: _____. Porto Alegre: Editora Sulina, 1997. cap. Complexidade, do casulo à borboleta, p. 25–45.
- CAVALCANTE, Gustavo Vasconcellos; LIMA-MARQUES, Mamede. Contribuições da ciência da informação para a ciência das redes. *Revista Ibero-americana de Ciência da Informação*, v. 1, n. 2, p. 139–149, jul./dez 2008 2008.
- CAVALCANTE, Gustavo Vasconcellos; LIMA-MARQUES, Mamede. A ciência das redes no combate ao crime e na proteção da infraestrutura crítica para a sociedade. In: *Proceedings of The Fourth International Conference of Forensic Computer Science*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 60–66.
- CHEN, Wai-Kan. *Net Theory and its Applications: Flows in Networks*. [S.l.]: Imperial College Press, 2003.
- CLAUSET, Aaron; SHALIZI, Cosma Rohilla; NEWMAN, M. E. J. *Power-law distributions in empirical data*. 2007. E-print. Disponível em: <<http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:0706.1062>>.
- CSERMELY, Peter. *Weak Links: Stabilizers of Complex Systems from Proteins to Social Networks (The Frontiers Collection)*. [S.l.]: Springer, 2006. Hardcover. ISBN 3540311513.

- DAVIS, D.E.; PEREIRA, A.W. *Irregular armed forces and their role in politics and state formation*. [S.l.]: Cambridge Univ Press, 2003.
- DAY, John. *Patterns in Network Architecture - A return to Fundamentals*. [S.l.]: Pearson Education Inc., 2008.
- DEFREITAS, Frank. *Holography Online*. 2008. Página Web. Página acessada em outubro de 2008. Disponível em: <<http://www.holoworld.com/>>.
- DELEUZE, Gilles; GUATARRI, Félix. *Mil platôs - Capitalismo e Esquizofrenia - Volume 1*. Rio de Janeiro: Editora 34, 1995. Tradução de Aurélio Guerra Neto e Celia Pinto Costa.
- DELEUZE, Gilles; GUATARRI, Félix. *Mil platôs - Capitalismo e Esquizofrenia - Volume 3*. Rio de Janeiro: Editora 34, 1996. Tradução de Aurélio Guerra Neto e Celia Pinto Costa.
- DELEUZE, Gilles.; GUATTARI, Felix. *Kafka pour une littérature mineure*. [S.l.]: Editions de Minuit, 1975.
- DEMO, Pedro. *Pesquisa e construção de conhecimento*. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1996.
- DIESTEL, Reinhard. *Graph theory, volume 173 of Graduate Texts in Mathematics - Eletronic Version*. [S.l.]: Springer, 2000.
- DODDS, Peter Sheridan; MUHAMAD, Roby; WATTS, Duncan J. An experimental study of search in global social networks. *Science*, v. 301, n. 5634, p. 827–829, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/301/5634/827>>.
- DORF, R.; BISHOP, R.H. *Sistemas de Controle Modernos*. [S.l.: s.n.], 2005.
- DOROGOVTSSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. *Evolution of networks : from biological nets to the Internet and WWW*. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2003. ISBN 0198515901.
- DOYLE, Arthur Conan. *Memórias de Sherlock Holmes*. Porto Alegre - RS - Brasil: Coleção L&PM Pocket, 2005. Tradução de Alessandro Zir.
- ENGLAND, University of New. *Citation tracking*. 2009. URL. Acessado em junho de 2009. Disponível em: <<http://www.une.edu.au/library/eskillsplus/literature/citation.php>>.
- ERDOS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, v. 5, p. 17–61, 1960.
- ERIKSSON, Darek M. *Managing Problems of Postmodernity: Some Heuristics for Evaluation of Systems Approaches*. 1998. Laxenburg, Austria. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/eriksson98managing.html>>.
- FALOUTSOS, Michalis; FALOUTSOS, Petros; FALOUTSOS, Christos. On power-law relationships of the internet topology. In: *SIGCOMM*. [S.l.: s.n.], 1999. p. 251–262.
- FERNANDES, Jorge Henrique Cabral. *Corpus/Genesis: an Approach for Construction of Distributed, Concurrent, Dynamical and Event-Driven Open Systems*. Tese (Doutorado) — Centro de Informática - Universidade Federal de Pernambuco, 2000.
- FERRATER MORA, José. *Diccionario de Filosofía*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1969.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo Dicionário Aurélio - Século XXI*. 2a. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993.

- FERREIRA, Flavia Turino. Rizoma: um método para as redes? *Liinc em Revista*, v. 4, n. 1, p. 28–40, março 2008. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibict.br/liinc>>.
- FINDLEN, Paula. *Athanasius Kircher: the last man who knew everything*. New York, Usa: Routledge, 2004.
- FLORIDI, L.; SANDERS, JW. *Levellism and the Method of Abstraction*. november 2004. IEG - Research Report. Oxford University and University of Bari.
- FORD, K.; SOHN, W.; LEPKOWSKI, J. American adolescents: sexual mixing patterns, bridge partners, and concurrency. *Sexually Transmitted Diseases*, v. 29, n. 1, p. 13, 2002.
- FORTIN, Robin. *Compreender a Complexidade - Introdução a O Método de Edgar Morin*. Lisboa - Portugal: Instituto Piaget - Coleção: Epistemologia e Sociedade, 2007. 284 p. Pref. de Edgar Morin.
- FRIESZ, Terry L. *Network Science, Nonlinear Science and Infrastructure Systems*. Primeira edição. Nova York: Springer Publishing Company, Incorporated, 2007. ISBN 0387710809, 9780387710808.
- GIGCH, J. P. van; MOIGNE, J. L. Le. A paradigmatic approach to the discipline of information systems. *Behav. Sci.*, General Systems Science Foundation, La Jolla, CA, USA, v. 34, n. 2, p. 128–147, 1989. ISSN 0005-7940.
- GIGCH, John P. van; PIPINO, Leo L. In search of a paradigm for the discipline of information systems. *Future Comput. Syst.*, Maruzen Company Limited, Tokyo, Japan, Japan, v. 1, n. 1, p. 71–97, 1986. ISSN 0266-7207.
- GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1991.
- GIRVAN, M.; NEWMAN, MEJ. Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, National Acad Sciences, v. 99, n. 12, p. 7821, 2002.
- GLADWELL, Malcom. *O ponto de desequilíbrio (The tipping point)*. Rio de Janeiro: Rocco, 2002.
- GLERIA, Iram; MATSUSHITA, Raul; SILVA, Sergio Da. Sistemas complexos, criticalidade e leis de potência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, p. 99–108, 2004.
- GÖDEL, K. Uber formal unentscheidbare satze der principia mathematica und verwandter systeme. *Monatshefte fur Mathematik*, Springer, v. 38, n. 1, p. 173–198, 1931.
- GOLDSTEIN, Jeffrey. Emergence as a construct: History and issues. *Emergence*, Lawrence Erlbaum, v. 1, n. 1, p. 49–72, 1999.
- GRANOVETTER, Mark S. The strength of weak ties. *The American Journal of Sociology*, v. 78, p. 1360–1380, 1973.
- GROSSMAN, Jerry. *The Erdős Number Project*. 2007. Acessado em Outubro de 2007. Disponível em: <<http://www.oakland.edu/enp/>>.
- GUARE, John. *Six degrees of separation : a play*. New York: Vintage Books, 1990. 90050588 by John Guare. 21 cm.
- GUI, Bernard. *Practica Inquisitionis haereticae pravitatis - Manuel de l Inquisiteur*. Paris: Belles Lettres, 1964.

- GUILLAUME, Jean-Loup; LATAPY, Matthieu; MAGNIEN, Clémence. Comparison of failures and attacks on random and scale-free networks. In: _____. [S.l.]: Springer Berlin / Heidelberg, 2005. cap. Principles of Distributed Systems, p. 186–196.
- HEISENBERG, W.; ; PASCUAL, G.F. *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Barcelona - España: Seix Barral, 1993.
- HOFSTADTER, D.R. *Gödel, Escher e Bach Um entrelaçamento de gênios brilhantes*. [S.l.]: Editora UnB e Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2001. 892 p. p. Tradução: José Viegas Filho.
- HOUAISS, Antônio *et al.* *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Objetiva, 2007. Disponível em: <<http://www.worldcat.org/oclc/166332580>>.
- HSU, L.H.; LIN, C.K. *Graph Theory and Interconnection Networks*. Boca Raton: CRC, 2008.
- IBGE. *Censo 2000*. 2000. Acessado em janeiro de 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.
- IBGE. *IBGE - Pesquisas de Orçamentos Familiares (POF)*. 2002–2003. Acessado em janeiro de 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.
- IMDB. *Memorable quotes for Six Degrees of Separation*. 1993. Acessado em outubro de 2007. Disponível em: <<http://www.imdb.com/title/tt0108149/quotes>>.
- IMDB. *The Name of the Rose*. 1993. Filme. Acessado em dezembro de 2009. Disponível em: <<http://www.imdb.com/title/tt0091605>>.
- ITA. *ITA - International Technology Alliance in Network and Information Science*. outubro 2009. Sítio Web. <http://www.usukita.org/>. Acessado em outubro de 2009.
- JACOBS, Jane. *The death and life of great American cities*. [New York]: Random House, 1961. 61006262 24 cm.
- JACOBS, Jane. *Morte e vida de grandes cidades*. Jane Jacobs: Martins Fontes, 2001.
- JAMES, K. Feibleman. The integrative levels in nature. *British journal for the philosophy of science*, v. 5, p. 27–41, 1954.
- JAPIASSÚ, Hilton. *O mito da neutralidade científica*. Rio de Janeiro: Imago (Série Logoteca), 1975.
- JAPIASSÚ, Hilton; MARCONDES, Danilo. *Dicionário Básico de Filosofia*. [S.l.]: Jorge Zahar Editor, 1996.
- JOHNSON, L.R.; BYRNE, J.H. *Essential medical physiology*. [S.l.]: Academic Press, 2003.
- KARINTHY, Frigyes. Chains. In: *Everything is different*. [S.l.]: Editora Desconhecida, 1929.
- KELSCRAFT. *Ancient Cultures Images Links*. dezembro 2009. Sítio Web. <http://www.kellscraft.com/StorePages/AncientCulturesPage.html>. Acesso realizado em dezembro de 2009.
- KENNY, Anthony. *Historia concisa da Filosofia ocidental*. [S.l.]: Temas e Debates, 2003.
- KENSKI, Vani Moreira. *Novas tecnologias - O redimensionamento do espaço e do tempo e os impactos no trabalho docente*. setembro 1997. Trabalho apresentado na XX Reunião Anual da ANPEd.

- KICKERT, Walter J. M.; GIGCH, John P. van. Metasystem approach to organizational decision-making. *Management Science*, v. 25, n. 12, p. 1217–1231, 1979.
- KIRCHER, Athanasius. *Mundus subterraneus*. 1664.
Http://www.equisetites.de/kircher/mundus.html. Acessado em dezembro de 2009.
- KLEINBERG, J.M. Navigation in a small world. *Nature*, v. 406, p. 845, 2000.
- KLEINBERG, Jon. The small-world phenomenon: An algorithmic perspective. In: *in Proceedings of the 32nd ACM Symposium on Theory of Computing*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 163–170.
- KLEINFELD, Judith. Six degrees: Urban myth? *Psychology Today Magazine*, Março/Abril 2002.
- KLUVER, Jürgen; SCHMIDT, Jorn. Topology, metric and dynamics of social systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 2, n. 3, 1999. Disponível em: <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/2/3/7.html>>.
- KOCH, Richard. *O Princípio 80/20*. Rio de Janeiro: Rocco, 2000.
- KRAMER, Jeff. Is abstraction the key to computing? *Commun. ACM*, ACM Press, New York, NY, USA, v. 50, n. 4, p. 36–42, April 2007. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1145/1232743.1232745>>.
- KUHN, Thomas. *A estrutura das revoluções científicas*. 7a. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.
- KUROSE, J.F.; ROSS, K.W.; ZUCCHI, W.L. *Redes de computadores ea Internet uma abordagem top-down*. [S.l.]: Pearson Addison Wesley, 2006.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas, 1993.
- LANDOW, G.P.; LANDLOW, G.P. *Hypertext 2.0: The Convergence of Contemporary Critical Theory and Technology*. [S.l.]: Johns Hopkins University Press, 1997.
- LE COADIC, Yves-François. *A Ciência da Informação*. Brasília: Briquet de Lemos, 2004.
- LEBEDEV, Art. *Matryoshka*. 2009. Sítio Web. <http://nexus404.com/Blog/2008/07/07/art-lebedev-matryoshka-storage-capacity-dolls-now-available-in-black-geeky-ornaments/>. Acessado em julho de 2009.
- LESKOVEC, Jure; HORVITZ, Eric. Planetary-scale views on a large instant-messaging network. In: *Proceedings of WWW 2008*. Beijing, China: [s.n.], 2008.
- LÉVI-STRAUSS, C. *As estruturas elementares do parentesco*. Petrópolis. Petrópolis: Vozes, 1982.
- LÉVI-STRAUSS, C. *Mito e Significado*. Lisboa, Portugal: [s.n.], 1989.
- LÉVY, Pierre. *As tecnologias da inteligência : o futuro do pensamento na era da Informática*. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.
- LEWIS, Ted G. *Network Science: Theory and Applications*. New Jersey: Wiley Publishing, 2009. ISBN 0470331887, 9780470331880.
- LIESHOUT, Laurens van. *Feedback process*. janeiro 2006. Sítio Web. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Feedbackprocess.png>. Licensed under the GFDL by the author.

- LIMA-MARQUES, Mamede; CAVALCANTE, Gustavo Vasconcellos. Hiperfídia e rede complexa. In: *Conahpa - Congresso Nacional de Ambientes Hiperfídia para aprendizagem*. [S.l.: s.n.], 2008.
- LIPSCHUTZ, Seymour; LIPSON, Marc. *Matemática Discreta*. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- LORENS, Evandro. *Aspectos normativos da segurana da informao: um modelo de cadeia de regulamentao*. Dissertao (Mestrado) — Universidade de Braslia, Faculdade de Economia, Administrao, Contabilidade e Cincia da Informao e Documentao, Departamento de Cincia da Informao e Documentao, 2007.
- LOUX, M.J. Recent work in ontology. *American Philosophical Quarterly*, Basil Blackwell, p. 119–138, 1972.
- MACEDO, Flvia Lacerda Oliveira de. *Arquitetura da informao : aspectos epistemolgicos, cientficos e prticos*. Dissertao (Mestrado) — Universidade de Braslia, Faculdade de Economia, Administrao, Contabilidade e Cincia da Informao e Documentao, 2005.
- MACHADO, Antonio. *Poesias completas*. Madri - Espanha: Calpe, 1973. P. 158 "Proverbios y cantares".
- MACHADO, Raymundo das Neves. Scientometric analysis of bibliometric studies published in brazilian library and information science journals (1990-2005). *Perspectivas em Cincia da Informao*, scielo, v. 12, p. 2 – 20, 12 2007. ISSN 1413-9936.
- MARIANI, Antonio Carlos. *Teoria dos Grafos - Problema do Caminho Mnimo*. 2004. Acessado em maro de 2009. Disponvel em: <<http://www.inf.ufsc.br/grafos/problemas/index.htm>>.
- MARIOTTI, Humberto. *Os Cinco Saberes do Pensamento Complexo (Pontos de Encontro entre as obras de Edgar Morin, Fernando Pessoa e Outros Escritores)*. Abril 2002. Comunicao s 3as Conferncias Internacionais de Epistemologia e Filosofia.
- MARIOTTI, Humberto. *Pensamento Complexo*. [S.l.]: Editora Atlas, 2007.
- MARTELETO, Regina Maria. Anlise de redes sociais - aplicao nos estudos de transferncia da informao. *Cincia da Informao*, v. 30(1), p. 71–81, 2001.
- MARTINAZZO, Celso Jose. *A Utopia de Edgar Morin - da Complexidade À Concidadania Planetria*. Rio Grande Sul: Editora Uniju, 2002.
- MATHEUS, Renato Fabiano; SILVA, Antonio Braz de Oliveira e. Anlise de redes sociais como mtodo para a cincia da informao. *DataGramZero - Revista de Cincia da Informao*, v. 7, n. 2, 2006.
- MATHLAND. *Konigsberg Bridge*. 2009. Sdio Web. <http://math.youngzones.org/Konigsberg.html>. Acessado em dezembro de 2009.
- MEDNICOFF, Elisabeth. *Dossiê Jung*. So Paulo: Universo dos livros Editora, 2008. 160 p.
- MERLEAU-PONTY, M. *A estrutura do comportamento*. [S.l.: s.n.], 1975.
- MERTON, Robert K. The matthew effect in science: The reward and communication systems of science are considered. *Science*, v. 159, n. 3810, p. 56–63, January 1968.
- MESAROVIC, M. D.; MACKO, D.; TAKAHARA, Y. *Theory of Hierarchical Multilevel Systems*. New York: Academic Press, 1970. 294 p.
- MILGRAM, Stanley. The small world problem. *Psychology Today*, v. 2, p. 6067, 1967.

- MILGRAM, Stanley. *Obedience to authority; an experimental view*. [1st. New York,: Harper & Row, 1974. 71138748 illus. 25 cm. Bibliography: p. 213-218. ISBN 0060129387.
- MILO, R. *et al.* Network motifs: simple building blocks of complex networks. *Science*, v. 298, n. 5594, p. 824–827, 2002.
- MIRANDA, Antônio; SIMEÃO, Elmira. *Ciência da informacao: teoria e metodologia de uma area em expansao*. [S.l.]: Thesaurus Editora, 2003.
- MONTEIRO, Silvana. O ciberespaço e os mecanismos de busca: novas máquinas semióticas. *Ciência da Informação*, v. 35, n. 1, p. 31–38, 2006. Brasília Jan./Apr. 2006.
- MORENO, J. L. *Who shall survive? A new approach to the problem of human interrelations*. Washington, D.C.,: Nervous and mental disease publishing co., 1934. (Nervous and mental disease monograph series,).
- MORILLO, F.; BORDONS, M.; GOMEZ, I. Interdisciplinarity in science: A tentative typology of disciplines and research areas. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 54, n. 13, p. 1237–1249, 2003.
- MORIN, Edgar. *O método I: a natureza da natureza*. terceira edição. Portugal: Publicações Europa-América, 1997.
- MORIN, Edgar. *O Método 3: O conhecimento do conhecimento*. [S.l.: s.n.], 1999.
- MORIN, Edgar. *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.
- MORIN, Edgar. *Meus demônios*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.
- MORIN, Edgar. *O método 5: a humanidade da humanidade, a identidade humana*. Porto Alegre (RS): Editora Sulina, 2002.
- MORIN, Edgar. *Introdução ao pensamento complexo*. Porto Alegre (RS): Editora Sulina, 2007. Terceira edição.
- MORIN, Edgar; MOIGNE, Jean-Louis de Le. *A inteligência da complexidade*. [S.l.]: Ed. Fundação Peirópolis, 2000.
- MOURA, Mônica. *O design de hipermidia*. Tese (Doutorado) — Comunicação e Semiótica -Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC/SP, 2003.
- MURRAY, A.T.; GRUBESIC, T.H. *Overview of Reliability and Vulnerability in Critical Infrastructure*. [S.l.]: Springer, 2007.
- MYSTICSPHERE. *Consciousness, Reductionism e Holism*. 2008. Página da Web. Acessada em Agosto de 2008. Disponível em: <<http://www.mysticsphere.com/Regular/Conscious/Reductionism.htm>>.
- NASCIMENTO, Marta Sianes Oliveira do. *Proteção ao conhecimento : uma proposta de fundamentação teórica*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação, Departamento de Ciência da Informação e Documentação, 2008.
- NEWMAN, MEJ. Detecting community structure in networks. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, Springer, v. 38, n. 2, p. 321–330, 2004.

- NEWMAN, Mark E. J. *Who is the best connected scientist?: a study of scientific coauthorship networks*. 2000. The Santa Fé Institute. Paper 00-12-064.
- NEWMAN, Mark E. J. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, SIAM, v. 45, n. 2, p. 167–256, 2003. Acesso em Julho de 2007.
- NEWMAN, Mark E. J. Power laws, pareto distributions and zipf's law. *Contemporary physics*, Taylor & Francis, v. 46, n. 5, p. 323–351, 2005.
- NEWMAN, Mark E. J. *The structure and dynamics of networks*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2006. (Princeton studies in complexity). Mark E. J. Newman, Albert-Laszlo Barabasi, Duncan Watts.
- NEWMAN, Mark E. J.; GIRVAN, M. Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, v. 69, p. 026113, 2004.
- NICOLESCU, Basarab. A evolução transdisciplinar da universidade - condição para o desenvolvimento sustentável. In: *A Responsabilidade da Universidade para com a Sociedade, International Association of Universities, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand*. [S.l.: s.n.], 1997.
- NORUZI, Alireza. Google scholar: The new generation of citation indexes. *Libri*, v. 55 (4), p. 170–180, 2005.
- NRC, National Research Council (U.S.). Committee on Network Science for Future Army Applications. *Network science / Committee on Network Science for Future Army Applications, Board on Army Science and Technology, Division on Engineering and Physical Sciences, National Research Council*. Washington, DC: National Academies Press, 2005.
- OAKLAND UNIVERSITY. *The Erdos Number Project*. 2009 1979. Sítio Web. www.oakland.edu/enp/trivia/. Acessado em dezembro de 2009.
- OGATA, K. *Modern Control Engineering*. [S.l.]: Prentice Hall, 2009.
- ORMEROD, Paul; ROACH, Andrew. The medieval inquisition: Scale-free networks and the suppression of heresy. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2004.03.020>>.
- ORTEGA Y GASSET, JOSE. *Meditaciones del Quijote*. tercera edición. Madrid - España: Cátedra, 1984.
- OTTE, Evelien; ROUSSEAU, Ronald. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. *Journal of Information Science*, v. 28, n. 6, p. 441–453, 2002. Disponível em: <<http://jis.sagepub.com/cgi/content/abstract/28/6/441>>.
- OUTWATER, Christopher; HAMERSVELD, Van. *Practical Holography*. 2004. Página Web. Acessada em outubro de 2008. Disponível em: <<http://www.holo.com/holo//book/book.html>>.
- OXFORD, University Press. *The Oxford Dictionary of Philosophy*. [S.l.]: Oxford University Press, 2005.
- PATTEN, BC. Network ecology: indirect determination of the life-environment relationship in ecosystems. *Theoretical Studies of Ecosystems: The Network Perspective*. Cambridge University Press, New York, p. 288–351, 1991.

- PEREIRA, Frederico Cesar Mafra. A equação fundamental da ciência das informação e a importância de brookes enquanto referência para o campo da ciência das informação. In: *VII EDIBCIC - Encuentro Asociación de Educadores e Investigadores de Bibliotecología, Archivología, Ciencias de la Información y Documentación de Iberoamérica y el Caribe*. Marília - São Paulo: [s.n.], 2006.
- PERROW, C.; WILENSKY, H.L.; REISS, A.J. *Complex organizations: A critical essay*. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 1986.
- PINHEIRO, Lena Vânia Ribeiro. *Ciência da Informação: desdobramentos disciplinares, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade*. Rio de Janeiro: IBICT/MCT, 2002.
- PISANI, Francis. Networks as a unifying pattern of life involving different processes at different levels—an interview with fritjof capra. *International Journal of Communications*, v. 1, p. 5–25, 2007.
- PRICE, Derek de Solla. A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes. *Journal of American Society of Information Science*, v. 27 (Sept-Oct), p. 292–306, 1976.
- PRICE, Derek J. de Solla. Networks of scientific papers. *Science*, v. 149, n. 3683, p. 510–515, 1965. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org>>.
- PRIMO, A.F.T.; RECUERO, R. Co-links: proposta de uma nova tecnologia para a escrita coletiva de links multidirecionais. *Revista Fronteiras—estudos midiáticos*, v. 6, n. 1, p. 91–113, 2004.
- RAFAEL. *Escola de Atenas*. 1510. Pintura. Reprodução de parte do quadro de Rafael “A Escola de Atenas”. Obra é parte do acervo da Biblioteca do Palácio do Vaticano.
- REYNOLDS, Patrick. *The Oracle of Bacon*. 2007. Acessado em Outubro de 2007. Disponível em: <<http://oracleofbacon.org/>>.
- RICE, John. *Mathematical Statistics and Data Analysis*. Second ed. [S.l.]: Duxbury Press, 1995.
- RIDLEY, Matt. *The origins of virtue : human instincts and the evolution of cooperation*. Primeira. New York: Viking, 1997. ISBN 0670874493 (alk. paper).
- RODRIGUES, Georgete Medleg; LOPES, Ilza Leite (Coord.). *Organização e representação do conhecimento na perspectiva da Ciência da Informação*. Brasília: Thesaurus (Estudos avançados em Ciência das Informação), 2003.
- SÁNCHEZ, Juan Antonio Almendral. *Dynamics and Topology in Complex Networks*. Tese (Doutorado) — Departamento de Ciencias de la Naturaleza y Física Aplicada - Universidad Rey Juan Carlos, 2006.
- SANTOS, R. N. M. dos. Indicadores estratégicos em ciência e tecnologia: refletindo a sua prática como dispositivo de inclusão/exclusão. *Transinformação, Campinas*, p. 129–140, set./dez. (Edição Especial) 2003.
- SARACEVIC, Tefko. *Introduction to information science*. New York: R. R. Bowker, 1970.
- SCHELLING, T.C. *Micromotives and Macrobehavior*. [S.l.]: WW Norton & Company, 1978.
- SCHEPISI, Fred *et al.* *Six degrees of separation*. 1993. Metro-Goldwyn-Mayer.

- SCIENCE. *Science Magazine*. Julho 2009. Sítio <http://www.sciencemag.org/content/vol325/issue5939/index.dtl>. Site acessado em dezembro de 2009.
- SCOTT, John. *Social network analysis : a handbook*. segunda edição. London ; Thousands Oaks, Calif.: SAGE Publications, 2000. ISBN 0761963383 0761963391 (pb).
- SENGE, P.M. *et al.* *A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende*. [S.l.: s.n.], 1998.
- SIMON, Herbert A. On a class of skew distribution functions. *Biometrika*, v. 42, p. 425–440, 1955.
- SIQUEIRA, André Henrique de. *A lógica e a linguagem como fundamentos da arquitetura da informação*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação, Departamento de Ciência da Informação e Documentação, Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação, 2008.
- SMIT, B. de; LEIDEN, U. The droste-effect and the exponential transform. In: *Renaissance Banff Proceedings*. [S.l.: s.n.], 2005.
- SOARES, Hebert de Farias. *Uma contribuição da fenomenologia para a arquitetura da informação*. 2004. Monografia (Graduação em Biblioteconomia). Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação - UNB.
- SOLA POOL, Itiel de; KOCHEN, Manfred. Contacts and influence. *Social Networks*, v. 1, p. 1–48, 1978.
- SOLOMONOFF, Ray; RAPOPORT, Anatol. Connectivity of random nets. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, v. 13, n. 2, p. 107–117, 1951.
- SOUZA, Jose Cavalcante de (Organizador). *Coleção Os Pensadores - Os Pré-socráticos*. [S.l.]: Abril Cultural, 1973.
- SOWA, John F. *Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations*. [S.l.]: Course Technology, 1999. Hardcover. ISBN 0534949657.
- STEWART, Ian. *Does God play dice?* [S.l.]: Penguin Books, 1997.
- STROGATZ, S.H. *Sync*. New York: Hyperion, 2003.
- TAM. *Revista Tam Magazine*. Novembro 2007. Acessado em Novembro de 2007. Disponível em: <<http://www.megamediagroup.com.br/tammagazine/index2.html>>.
- TANENBAUM, Andrew .S. *Redes de computadores*. [S.l.: s.n.], 2003.
- TENENBAUM, Frances. *Taylor's Dictionary for Gardeners*. [S.l.]: Houghton Mifflin Company, 2007.
- THELWALL, Michael Arijan. *Link analysis: an Information Science approach*. Amsterdam: Elsevier, 2004.
- TORRES, José Júlio Martins. Teoria da complexidade: uma nova visão de mundo para a estratégia. In: PUC/PR. *Anais do I Encontro Brasileiro de Estudos da Complexidade*. Curitiba, 2005.

- TRAVERS, J.; MILGRAN, S. An experimental study of the small world problem. *Sociometry*, v. 32, p. 425–443, 1969.
- ULBRICHT, Vania Ribas; PEREIRA, Alice. T. C (orgs). *Hipermídia um desafio da atualidade*. [S.l.]: Editora Pandion, 2009.
- UNIVERSIDADE DE LISBOA. *Redes Complexas: Da Internet às Redes Sociais*. julho 2009. Sítio Web. <http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/>. Prisma - à luz da física - Centro de Física Teórica e Computacional - Grupo Multidisciplinar da Universidade de Lisboa.
- WALSH, Bryan. *A green tipping point*. outubro 2007. Time Magazine.
- WAREPEDIA. *Porfírio retratado no Liber de herbis (s. XIV), de Monfredo de Monte Imperiali*. 2009. Sítio Web. <http://wapedia.mobi/porfirio>. Acessado em dezembro de 2009.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. *Social network analysis: Methods and applications*. [S.l.]: Cambridge Univ Pr, 1994.
- WATTS, Duncan J. *Six degrees : the science of a connected age*. Primeira edição. Nova York: Norton, 2003. . ISBN 0393041425 0393325423 (pbk).
- WATTS, Ducan J.; STROGATZ, Steven. Collective dynamics of “small-worlds” networks. *Nature*, v. 393, p. 1302–1305, 1998.
- WEILL, P.; DAMBROSO, U.; CREMA, R. *Rumo à nova transdisciplinaridade: sistemas abertos de conhecimento*. [S.l.]: São Paulo (SP): Summus, 1993.
- WELLMAN, B. *et al.* Computer networks as social networks: Collaborative work, telework, and virtual community. *Annual review of sociology*, Annual Reviews, v. 22, n. 1, p. 213–238, 1996.
- WEST, Douglas Brent. *Introduction to graph theory*. segunda edição. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2001. ISBN 0130144002.
- WIENER, Norbert. *The human use of human beings: cybernetics and society*. New York - EUA: Avon Books, 1973.
- ZAGUETTO, Alexandre. *Anotações*. Dezembro 2009. Comentários na Banca de Doutorado de Gustavo Cavalcante.
- ZOURABICHVILI, François. *O vocabulário de Gilles Deleuze*. Rio de Janeiro: Relume-Dumara - Coleção: Conexoes, 2004.