UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE COMUNICAÇÕES E ARTES
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO

DANIEL TORRES GUINEZI

MENSURANDO INTERAÇÕES:
Modelos de rede e aplicações à pesquisa em comunicação

SÃO PAULO
2019

DANIEL TORRES GUINEZI

MENSURANDO INTERAÇÕES:
Modelos de rede e aplicações à pesquisa em comunicação

Dissertação apresentada ao programa de pós graduação em Ciências da Comunicação para obtenção do título de Mestre em Ciências da Comunicação

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Carvalho Antunes

Área de Concentração: Interfaces Sociais da Comunicação

Linha de Pesquisa: Comunicação e Educação

SÃO PAULO
2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Mensurando Interações: modelos de rede e aplicações às ciências da comunicação

Dissertação apresentada à Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Comunicação.

Aprovado em:_____

Banca Examinadora

_____

_____

_____

_____

AGRADECIMENTOS

Ninguém passa oito anos seguidos na universidade sem ter pelo menos uma dúzia de pessoas para agradecer.

Junto com este mestrado, também encerro minha graduação em economia. Sei que só tive oportunidades como essas por causa de pais que acreditaram em mim e deram oportunidades como pouquíssimos tem. Quando digo acreditaram não é à toa. Depois de algumas mudanças de carreira, investidas políticas, temporadas de na matemática pura, dois pedidos de demissão e toda sorte de plano mirabolante, o fato de meus pais ainda acreditarem em mim é um sinal de amor incondicional e certamente de fé, muita fé.

Sou grato a eles e sempre serei pela liberdade que tive de correr atrás de sonhos mesmo quando as coisas só faziam sentido na minha cabeça, e por me ensinar que confiar nos outros vale a pena. Também ao meu irmão, Mini, por ser uma referência para mim de ser humano perfeito.

Também preciso agradecer a um amigo e mentor, que calha de ser também meu orientador, Luli Radfahrer. Se sou grato a meus pais por me darem a liberdade de enlouquecer, sei que você é a pessoa que carregou o piano do outro lado, sempre dando vazão aos devaneios de uma mente frenética. Desde que tivemos nosso primeiro contato no longínquo 2013, quando lhe abordei com a ideia de um algoritmo para prever bilheterias, muita coisa mudou (mas muita claramente também permaneceu). Você se tornou para mim uma referência de energia e criatividade, uma dessas raras criaturas que cativam todos ao redor. Jamais esquecerei os ensinamentos, as broncas e o bullet proof coffee. Sinto que ainda tenho muito a aprender.

Os próximos agradecimentos virão no atacado, por que do contrário precisaríamos de um capítulo a parte. Preciso agradecer aos melhores amigos do mundo, pessoas

que somente um sistema randômico como o universo seria capaz de oferecer. Adolfo, meu melhor amigo, é o mais próximo e dedicado que já tive desde sempre. Matheus Naves, François, Analau, Curti, Sofia, Fabi. São pessoas que fizeram o movimento estudantil e as infinitas horas de campanha valerem a pena. Matheus Sakita me ensinou o sentido de amizade, e até hoje continuo aprendendo. Das personalidade mais espirituosas que a ECA me deu, Pedro e Lucas continuam tirando meu melhor, e são pessoas que amarei para sempre. Também preciso agradecer à minha melhor amiga Robi, pessoa que no último ano me conheceu e me deu o maior privilégio que tenho, que é passar tempo com ela. Jamais imaginei que seria possível admirar tanto alguém.

Por fim, aos mestres que me formaram nessa trajetória e mostraram que o magistério é o mais admirável dos ofícios. Pedro Garcia Duarte, Laura Valladão, Otávio Freire, Laura Carvalho, Ricardo Madeira, Fernando Rugistsky e Glauco Arbix. Também agradeço ao Governo do Estado de São Paulo pelos recursos ao ensino superior Paulista, criando um dos maiores polos de excelência em pesquisa do mundo, e especialmente ao reitor Marco Antônio Zago, cujos esforços garantiram, mesmo diante das dificuldades, uma USP mais inclusiva e democrática, sem jamais abrir mão da excelência.

Agradeço, por fim, ao CNPQ que financiou essa pesquisa - especialmente agora, momento em que o apoio às humanidades converte-se em resistência.

"I thought it was the task of the natural sciences to discover the facts of nature, not to create them"
(Erwin Chargaff, 1963)

"Mathematics is a machine that can think for us; we derive as much advantage from its service as from machines in industry that work for us"
(Jules Dupuit, 1844)

"Civil society makes incommensurables comparable, by reducing them to abstract quantities. Enlightenment changes whatever does not reduce to numbers, and finally to identity, into mere appearance"
(Max Horkheimer and Theodor Adorno, 1944)

RESUMO

GUINEZI, D.T. **Medindo Interações:** modelos de rede e aplicações à pesquisa em ciências da comunicação. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências da Comunicação) - Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

O objetivo dessa dissertação de mestrado é apresentar o potencial do uso de modelos formais de redes para as pesquisas em ciências da comunicação. Essa apresentação passa, em um primeiro momento, pelo necessário delineamento epistemológico sobre as implicações de se utilizar modelos matemáticos na pesquisa. Em seguida, a partir dos conceitos fundadores de Topologia e Formação das redes, explorados respectivamente através de Grafos e Teoria dos Jogos, é apresentada uma coleção de modelos com elevado potencial para as pesquisas na área, bem como exemplos de aplicações. Ao fim é apresentada uma aplicação empírica do modelo de difusão no contexto dos aplicativos móveis. A pretensão central, portanto, tem natureza didática, apresentando os modelos, orientando seu uso e recontextualizando suas aplicações.

ABSTRACT

GUINEZI, D.T. **Measuring Interactions:** network models and applications to research in communication studies. 2019. Dissertation (Master of Philosophy in Communication Sciences) - School of Communications and Arts, University of São Paulo, 2019.

Our goal is to introduce the potential of network models in the context of research in communication studies. This introduction starts with an epistemological debate about the implications of applying mathematical methods in social sciences research. Following, we use the concepts of Topology and Network Formation from Graphs and Game Theory, respectively, in order to present a collection of models with potential applications to the research in the field. By the end, we present an empirical study on innovation diffusion in the context of mobile apps. Overall, our main goal is to present the models, guide its use and bring its applications into a new context.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem: menções ao ataque de bolsonaro nas redes sociais, fonte DAPP FGV……11
Figura 2 - Redes de comércio das índias orientais no século XVIII……...12
Figura 3 - Grafo Direcionado e Grafo Não Direcionado……..……..*35*
Figura 4 - Relação entre topologia e distribuição dos graus ……..…..*36*
Figura 5 - Distâncias em uma rede com nós de grau 2……...…..*37*
Figura 6 - Pontes Locais e Clusters desconexos vs. Pontes e Clusters Conectados……..…39
Figura 7 - Mundos Pequenos em redes aleatórias e não aleatórias……..…41
Figura 8 - Tabela de Payoffs em um jogo simultâneo……..……...……..…..*45*
Figura 9 - Tabela de Payoffs em um jogo competitivo……..……...……...…..*47*
Figura 10 - Matriz de Payoffs da Batalha dos Sexos……..……..……..…….49
Figura 11 - Batalha dos Sexos na forma extensiva……..……..……..…….50
Figura 12 - Matriz de Payoffs de um jogo evolucionário……..……..……..…52
Figura 13 - Distribuição dos graus esperada para redes aleatórias: Curva normal…..……..……..…55
Figura 14 - Curvas de distribuição dos graus por nó: Normal e Exponencial……..……..……..…57
Figura 15 - Evolução no número de links por nó como função do tempo nos modelos sem escala de Barabási e Albert, e Bianconi Barabási……..……..……..…63
Figura 16 - Disposição a pagar por um bem na ausência de externalidades de redes…….....72
Figura 17 - Disposição a pagar por um bem na presença de externalidades de redes…....73
Figura 18 - Matriz de payoffs do jogo de coordenação…..……..……..……..…77
Figura 19 - Processo de difusão da inovação a partir dos nós v e w: cascata completa…..…79
Figura 20 - Processo de difusão da inovação a partir dos nós v e w: cascata parcial…..…80
Figura 21 - Clusters de densidade maior do que q: interrompem a difusão..……..……..…81
Figura 22 - Clusters de Opiniões no Twitter sobre o impeachment de Dilma……..……..…82
Figura 23 - Grau médio dos nós e coeficiente de clusterização nos clusters……..……..…83
Figura 24 - Topologia do movimento #VempraRua no Twitter……..……..……..…86
Figura 25 - Distribuição ajustada de Comentários e Likes por post nos dois clusters do debate….87
Figura 26 - Características topológicas das redes de disseminação de fake news..……..…86
Figura 27 - Curva de difusão de Rogers ……..……..……..…92
Figura 28 - Esquema Básico da TRA ……..……..……..…94
Figura 29 - Esquema Básico da TAM ……..……..……..….95
Figura 30 - Modelo UTAUT……..……..……..……..…95
Figura 31 - Esquema Básico da UTAUT……..……..……..……..…96
Figura 32 - Tempo de difusão de inovações nos EUA ao longo do século XX…..……..…100
Figura 33 - Curva de adoção de aplicativos de mensagem vs. de social media..……..…102
Figura 34 - Curva de downloads do aplicativo KakaoTalk…..……..……..…102
Figura 35 - Curva de downloads do aplicativo Faceapp em 2019…..……..…103
Figura 36 - Downloads por aplicativos em ordem decrescente…..……..……..…103

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO……..9
   1.1 Contexto ……...9
   1.2 Da estrutura e dos objetivos…….……...15

2. CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS ..……17
   2.1 Abordagens epistemológicas de redes e big data…….……....19
   2.2 Como pensar através de modelos..……..……...25
   2.3 Juntando as partes: a importância de modelos na era do Big Data….....30

3. CONCEITOS INSTRUMENTAIS PARA O ESTUDO DE REDES……..…...32
   3.1 Matemática das redes: introdução à teoria dos grafos……..…...34
   3.2 Pressupostos Comportamentais: Teoria dos Jogos……..…….....42

4. MODELOS DE REDES NO CONTEXTO DA PESQUISA EM COMUNICAÇÃO
   4.1 Modelos de redes sem escala: Barabási-Albert e Bianconi-Barabási…...55
   4.2 Modelos de difusão: Cascatas e externalidades de redes…..……....64
   4.3 Aplicações à Pesquisa em Comunicação……..……...83

5. APLICAÇÃO: DIFUSÃO DE APLICATIVOS COM EXTERNALIDADES DE REDES
   5.1 Contexto de análise..……..…….…..91
   5.2 Formulação teórica e suposições iniciais…..……....93
   5.3 Modelo integrativo: difusão de inovações sob externalidades de redes...99
   5.4 Evidências Empíricas……....100

6. REFLEXÕES FINAIS

I. APÊNDICE 1: COMUNICAÇÃO E HARD SCIENCES - POSSIBILIDADES EPISTEMOLÓGICAS DO QUANTITATIVISMO EM CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO

II. APÊNDICE 2: TEORIAS DA INOVAÇÃO EM PERSPECTIVA HISTÓRICA

REFERÊNCIAS

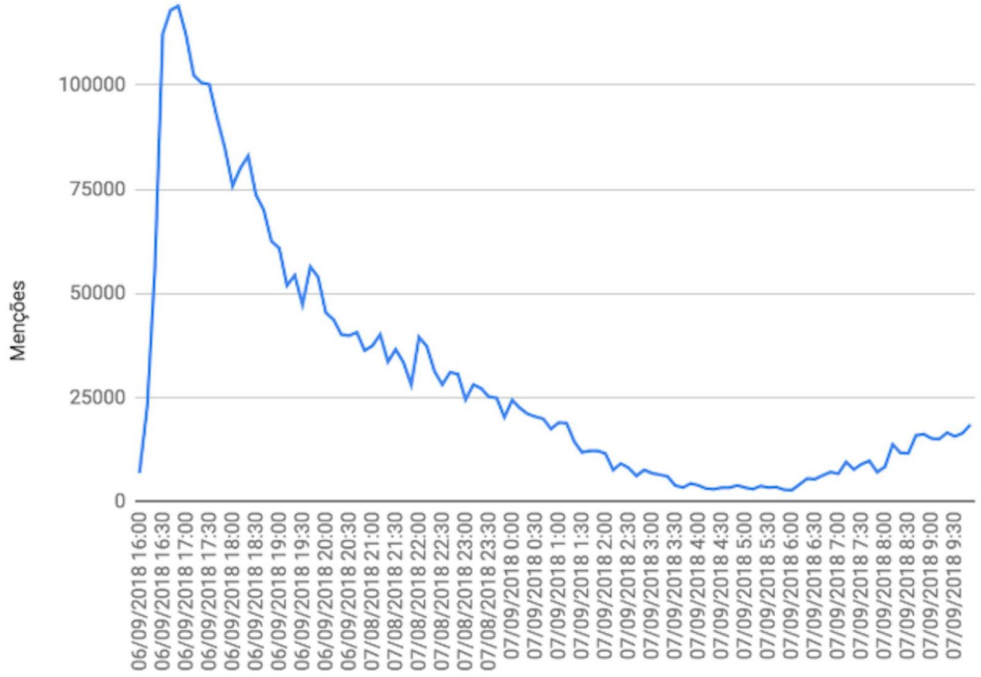
1.INTRODUÇÃO

1.1 Contexto: um banco, um atentado e um ovo

Após a dramática falência do Lehmann Brothers em 16 de Setembro de 2008, os mercados financeiros globais entraram em pânico. Bolsas ao redor do mundo todo colapsaram com a queda de um dos pilares do sistema bancário norte americano, colocando a economia toda sob risco. Diante da percepção do efeito em cadeia acelerado que decorreria da falência dos principais bancos norte americanos, o secretário do tesouro Harry Paulson e o então presidente do FED Ben Bernanke encaminham ao congresso um bilionário pacote de resgate financeiro. O nível de integração do sistema geraria consequências desastrosas para toda a economia, exigindo do governo neutralização do efeito cascata gerado pelo pânico. É nesse momento que se populariza a expressão "*too big to fail*".

Praticamente dez anos depois, no dia 6 de setembro de 2018, o então candidato à presidência da república do Brasil leva uma facada no abdômen em evento de campanha no município de Juiz de Fora. Os vídeos do ocorrido imediatamente circulam pelas redes sociais, gerando grande comoção por eleitores de ambos os lados. Contudo, o que talvez tenha tornado este evento o mais relevante na trajetória vitoriosa do candidato não foram suas repercussões no mundo digital. Considerado um outsider com apenas 10 segundos de tempo de TV, Bolsonaro ganhou as manchetes dos principais jornais televisivos e impressos do país. Imagens do atentado foram exibidas no noticiário da TV aberta ao longo da semana toda, transformando um fenômeno restrito às redes sociais em presença constante na grande mídia brasileira.

Menções ao ataque de bolsonaro nas redes sociais, fonte DAPP FGV



Fonte DAPP FGV

No dia 14 de janeiro de 2019, a imagem de um ovo postada em um perfil até então desconhecido torna-se a foto mais curtida na história do Instagram, com 25 milhões de likes. É o "*world record egg*".

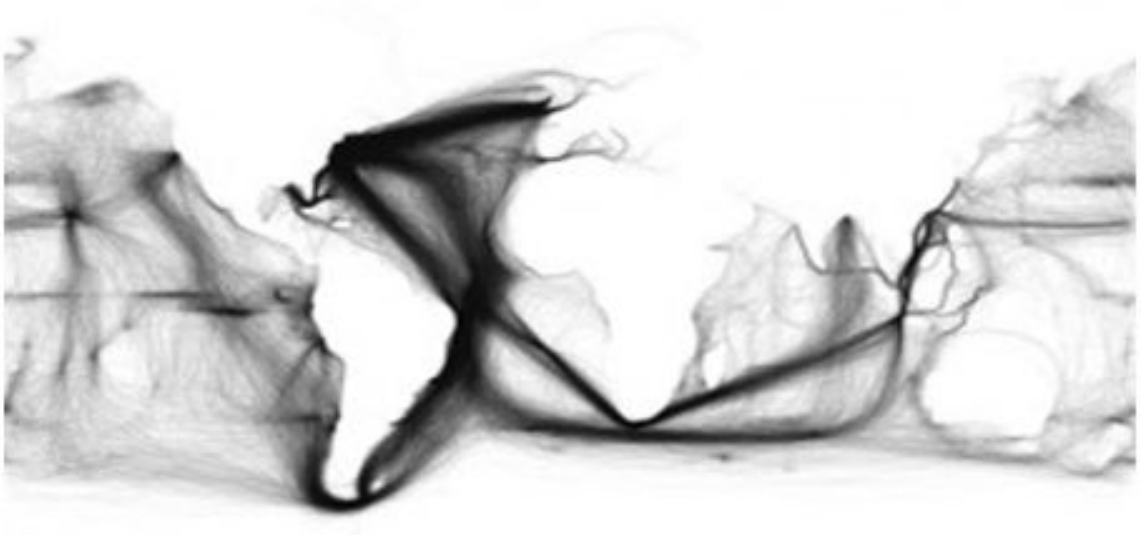
O propósito deste trabalho de mestrado pode ser exemplificado em primeiro identificar o que há de comum entre estes três eventos para, em seguida, reconhecer a partir de critérios claros o que há de distinto entre eles, evidenciando dinâmicas emergentes fundamentalmente distintas.

O que há de comum é que os três possuem um componente forte de redes. Podemos definir genericamente uma rede como um dado padrão de interconexões entre um conjunto de elementos (traremos uma definição formal no corpo do trabalho). Quando em um dado evento a dinâmica do todo é mais relevante do que a das partes individuais, podemos dizer que trata-se de um fenômeno em que o componente de redes é relevante.

Tomemos o exemplo do início da crise de 2008. De fato, a falência individual de cada instituição financeira não dá conta de compreendermos os efeitos dinâmicos para a economia. É na elevada integração do sistema financeiro americano, com nós importantíssimos que sustentam este sistema, e no elemento comportamental dos agentes (que reagem coletivamente mobilizando seus investimentos) onde está o cerne para a compreensão do problema. Da mesma forma, se pensarmos na eleição presidencial de 2008, o elemento relevante não é o atentado em si, mas o efeito dinâmico para a rede gerado pela facada.

Mas por que estudamos redes? Eventos em que a configuração do todo afeta a realidade das partes são comuns na natureza e no mundo social. O que o estudo científico de redes nos garante é que elas possuem certos princípios organizativos gerais, propriedades ocultas subjacentes à dinâmica organizacional que fazem emergir configurações cujo comportamento carrega alguma previsibilidade. Estes princípios muitas vezes se aplicam tanto para redes naturais, como a composição das proteínas em nossas células ou o fluxo da energia nos ecossistemas, quanto para redes da vida em sociedade, como o trânsito das ruas de São Paulo ou a rede de comércio das índias orientais no século XVIII.

Figura 2: redes de comércio das índias orientais no século XVIII



Fonte: Barabási, 2016

Uma constante nos sistemas orientados por redes é o movimento. É por isso que caracterizamos estes como *sistemas complexos*, que são conjuntos inter-relacionados de elementos cujo comportamento não é inteiramente determinístico (ou seja, carrega alguma imprevisibilidade). Sistemas complexos são usualmente caracterizados por auto organização (em que emerge alguma espécie de inteligência coletiva), pela não linearidade (crescimento emergente guiado por leis de potência), e por dinâmicas evolutivas na interação dos agentes.

Ao estudarmos redes vamos caracterizar sistemas complexos em duas frentes: topologia e formação. Na caracterização topológica vamos compreender de fato a estrutura daquela rede. Quem está ligado à quem? Quais são os nós mais relevantes? Quais são elos fortes e fracos? Qual é a densidade desta rede, e em torno de quais nós? Podemos identificar quebras estruturais? Por outro lado, compreender a formação de uma rede demanda teorias sobre a dinâmica dos grupos sociais nela compreendidos. São os conhecidos *scale free, small worlds, network effects, epidemics e cascading effects.*

O estudo da topologia e da formação de redes nos alicerça para o segundo movimento, que é diferenciar as redes. Em um exercício rápido, tomamos os exemplos aqui apresentados.

A resposta das autoridades norte americanas de resgatar financeiramente alguns bancos para evitar o colapso de todo o sistema é motivada pela compreensão tácita da topologia daquela rede, altamente centralizada em alguns *hubs,* bem como de seu processo formativo em efeito cascata - em que a ação de um banco contagiaria imediatamente os demais, motivando eles a replicarem esse comportamento.

Já no atentado ao então candidato, o elemento determinante era a topologia clusterizada da rede. Ao conquistar longos períodos no horário nobre da televisão, Bolsonaro preenche a principal lacuna de uma rede antes fechada de apoiadores digitais, integrando ele a um circuito de circulação da informação muito maior.

Por fim, o ovo recordista. Podemos pensar neste como um exemplo de contágio social por mimetização, em que mesmo agentes providos de racionalidade se tornam mais propensos a adotar um dado comportamento ao perceberem que seus pares também o adotaram.

Poderíamos analisar estes eventos sob diversos enquadramentos a partir de teorias de redes. O mais importante aqui é percebermos que a caracterização topológica e formativa da rede nos indica que tipo de propriedades ela possui. A partir destas propriedades, os movimentos daquele sistema se tornam menos imprevisíveis e, portanto, inteligíveis à mente humana.

Um esforço interdisciplinar

Proliferam-se no campo das pesquisas em Ciências da Comunicação investigações que, cada uma a sua maneira, empregam a noção de redes. Cartografias dos debates digitais, memística e análise de fenômenos culturais do Youtube são alguns exemplos de como os objetos de pesquisa incorporam o conceito. Centros brasileiros como IBPAD (Instituto brasileiro de Análise de dados), DAPP (FGV), LABiC (UFV), Datacracia (USP) e ESPM Media Lab (ESPM) já empregam métodos computacionais de coleta e visualização na análise de fenômenos de comunicação e cultura em redes. Autores que lidam com redes e complexidade, como Latour, Castells, Lévy e Morin figuram entre os mais citados nas pesquisas do campo.

É nesse sentido que uma visão interdisciplinar pode contribuir. O enquadramento mais formal de redes agrega conhecimentos de áreas tão diversas quanto a computação, a matemática aplicada, a biologia e a economia. Contudo, fundamentalmente, precisamos nos instrumentalizar com duas abordagens para compreender os modelos mais formais: grafos e teoria dos jogos.

O estudo de grafos é oriundo da matemática aplicada, sendo fundamental para a compreensão das propriedades e padrões na análise da estrutura de redes. A partir

dos trabalhos de Érdos e Rény sobre grafos aleatórios, vamos delinear os conceitos fundamentais de teoria dos grafos para uma compreensão estrutural dos fenômenos de redes.

Toda rede possui um componente comportamental, relacionado ao tipo de interação estratégica entre seus agentes. Como o todo reage à decisões individuais? É para a descrição desse tipo de padrão que vamos adotar o ferramental de teoria dos jogos, campo dedicado à descrição de interações estratégicas nos mais diversos enquadramentos (jogos estáticos, jogos sequenciais, leilões, barganhas, etc).

Contudo, a investigação empírica demanda ainda conhecimentos de natureza computacional que fogem ao escopo deste trabalho. Alguns manuais dedicados à técnicas de coleta de dados e análise de grafos devem completar o ferramental técnico.

Munidos deste arcabouço, estamos aptos à compreensão de modelos formais sobre sistemas complexos e formação de redes. Com mapas cada vez mais claros das redes ao nosso redor, o potencial de estudos empíricos é absolutamente fascinante. Contudo, esse tipo de estudo é enriquecido com o emprego de modelos teóricos capazes de disciplinar o olhar do pesquisador, permitindo que ele busque na rede estudada suas dinâmicas de formação específicas.

Este é um trabalho sobre redes e como sua compreensão pode trazer contribuições para a pesquisa em comunicação, mídia e cultura. Mas não só. Também é uma reflexão sobre a importância e o uso de modelos nas ciências sociais, ponderando vantagens e desvantagens desse tipo de abordagem. Vamos delinear critérios para a escolha de um modelo na pesquisa científica, e ressaltar suas enormes limitações. Saber o que um modelo não pode explicar é tão importante quanto compreender aquilo que ele supõe dizer.

1.2 Da estrutura e dos objetivos do trabalho

O estudo de redes, seus princípios gerais e suas aplicações, ocorre aqui devido ao seu elevado potencial de aplicação para as pesquisas em ciências da comunicação, tão investida na compreensão dos fenômenos contemporâneos. Nesse sentido, o trabalho tem uma pretensão principalmente didática: instrumentalizar a pesquisa no campo com modelos e ferramentas que enriqueçam a análise de redes, e mostrar algumas aplicações desses modelos a objetos tipicamente abordados na pesquisa em comunicação.

Por tratar-se de uma abordagem pouco explorada, a opção não foi pela investigação aplicada de fronteira - em parte também pelas limitações observadas ao longo do caminho. Em vez disso, a opção do trabalho foi pela exposição didática de um arcabouço teórico para a análise de redes, destacando sempre que possível seus potenciais de aplicação. Diante da ambição de realizar uma apresentação autocontida, a exposição dividiu-se nas seguintes partes:

Capítulo 2: nas considerações metodológicas, debatemos por que o contexto das tecnologias digitais oferece uma oportunidade para o estudo de redes, e que tipo de consequências epistemológicas isso tem. Em seguida, realizamos um extenso debate sobre a natureza de modelos formais, evidenciando suas potencialidades e limitações. Nessa parte, são feitas considerações acerca dos critérios para se escolher o modelo correto para atacar um problema de pesquisa, e sobre as principais implicações teóricas do uso de matemática como linguagem para a formulação de proposições.

Capítulo 3: trata-se de um capítulo instrumental, em que delineamos o arcabouço básico para a compreensão dos modelos abordados em seguida. Esse arcabouço é composto de duas instâncias: primeiro a linguagem matemática pela qual representamos as redes - os grafos - destacando propriedades gerais e formas de caracterização da estrutura de uma rede a partir de medidas dos grafos. Segundo, os mecanismos comportamentais embutidos nos modelos de redes através de

teoria dos jogos. Aqui, apresentamos brevemente alguns resultados canônicos que são a base para a formação de redes.

Capítulo 4: é o capítulo principal da dissertação, em que apresentamos de fato os modelos para análise de redes bem como algumas aplicações no campo das ciências da comunicação. Os escolhidos para apresentação foram os o modelos sem escala de Barabási-Albert (1999) e Bianconi-Barabási (2001), os modelos de difusão com externalidades de redes de Varian e Shapiro (1998), de difusão com cascatas de informação de Banerjee (1992) e difusão em redes heterogêneas de Rogers (1995). Em seguida, destacamos alguns artigos como potenciais aplicações desses modelos à pesquisa em comunicação, evidenciando quais já empregam modelos e quais poderiam se beneficiar desse uso.

Capítulo 5: constitui um exemplo próprio de aplicação dos modelos, especificamente ao contexto de difusão de aplicativos. Neste capítulo, retomamos o modelo de difusão de Rogers (1995) e o adaptamos para o contexto da adoção de tecnologias, destacando a importância dos efeitos de rede nesse processo. Também são coletadas de fontes secundárias algumas evidências empíricas acerca da difusão dos aplicativos de modo a avaliarmos seu encaixe com as previsões do modelo.

Ao final, também apresentamos dois apêndices: no primeiro, aprofundamos o debate sobre uso de modelos matemáticos na pesquisa de comunicação a partir de uma comparação epistemológica com a trajetória de desenvolvimento das ciências econômicas. No segundo, é apresentada uma breve história das ideias sobre inovação, que dialoga mais diretamente com a literatura do capítulo 5 sobre difusão de inovações e adoção tecnológica.

2. CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Neste capítulo, são abordadas as duas dimensões metodológicas relevantes para a proposta de estudos de redes que estamos vislumbrando.

Em primeiro lugar, questionamos os significados epistemológicos de empregar metadados em larga escala para pesquisas nas áreas de comunicação, mídia e cultura. Essa reflexão aponta não só os deslocamentos técnicos e metodológicos, como problematiza a proeminência destas técnicas para a pesquisa no campo. Sobre tais críticas, apresentamos as ideias de Fábio Malini e Christian Fuchs para, a partir de perspectiva crítica, se articular técnicas computacionais à pesquisa em comunicação, mídia e cultura.

Em segundo lugar, defendemos o uso de modelos formais enquanto alternativa para se articular as possibilidades empíricas abertas pelos métodos computacionais à fundamentos teóricos rígidos. Nesse sentido, fazemos uma reflexão sobre os significados do uso da matemática para expressão de proposições teóricas, e apresentamos um passo a passo para o uso de modelos na pesquisa em comunicação - pontuando sempre as limitações e cuidados necessários a esse tipo de abordagem.

Por fim, debatemos a relevância dos modelos diante dos algoritmos de inteligência artificial, evidenciando que se com o big data acessamos um grau de complexidade sem precedentes da realidade social, são os modelos que apreendem e simplificam estas relações de forma inteligível para que se tornem conhecimento.

2.1 Abordagens epistemológicas de redes e big data

2.1.1 Um novo estágio: *Media analytics*

A proposta metodológica apresentada por este trabalho aparece em um estágio bastante específico de desenvolvimento das teorias da comunicação, amplamente determinado pela ubiquidade das tecnologias digitais e pela ampliação substantiva da capacidade computacional para processamento e análise de dados.

O ponto de partida, aqui, é a análise proposta por Manovich (2018) que apresenta um novo estágio paradigmático para a história dos meios de comunicação e das teorias sobre mídia, comunicação e cultura. Na avaliação do autor, essa trajetória pode ser imaginada como "uma série de estágios que se sobrepõem. Em cada estágio, novas tecnologias e novas práticas para criar, armazenar, distribuir e utilizar conteúdo se tornam proeminentes" (MANOVICH, 2018, p.474). Iniciando-se com a prensa (1500-), a mídia de massa (1920 -), o uso de computadores pessoais para a criação de mídia (1981 -), a internet como plataforma de publicação e distribuição (1993 -) e o emprego massivo de redes sociais (2005 -), temos um ciclo de estágios em que cada novo estágio incorpora o anterior, que permanece ativo até hoje mesmo que menos importante e significativamente transformado.

Finalmente, chegamos no novo estágio proposto por Manovich, que ele descreve como *media analytics*, cujo fundamento central é a análise computacional de todo o tipo de mídia, comportamento e comunicação digitais.

> Diferentemente de outros estágios, seu centro não se trata da criação, publicação ou distribuição, ainda que estas operações sejam também afetadas. O núcleo desse novo estágio é a análise computacional automática de conteúdo de todo tipo de mídia disponível online, bem como comportamentos e comunicações online pessoais e de grupos. Como a indústria não possui um termo único para se referir a tais práticas, me adianto e cunho um nome para elas. Chamemos de *mídia analytics.* (MANOVICH, 2018, p. 474)

As evidências a respeito da ubiquidade das práticas de processamento e análise de dados de mídia são múltiplas, já que hoje “mídia analytics já é usado em toda a indústria cultural” (SEGAL, 2011; VANDERBILT, 2013). A escala da cultura digital no século 21 é o que mais chama atenção: já existem 14 bilhões de páginas online, com compartilhamento diário de 2 bilhões de fotos; os serviços. Serviços de streaming oferecem mais de 30 milhõe de músicas. Até 2017, o mundo já tinha 2.5 bilhões de usuários ativos das redes sociais, 3.7 bilhões de internautas (MANOVICH, 2018, p.474). Mas quais dados de fato caracterizam o substrato da era do *media analytics*? Manovich (2018) define as seguintes categorias:

1. Traços de comportamento físico (localização geográfica, data e hora do uso, ip dos computadores);
2. Pegadas digitais dos usuários (visitas a sites, compartilhamentos e likes, visualizações e cliques em anúncios)
3. Conteúdos de mídia criados por companhias (músicas, vídeos, livros e filmes);
4. Conteúdos de mídia criados por usuários de redes sociais (posts, conversas, imagens e vídeos)

Até hoje, tanto as humanidades digitais quanto as ciências sociais computacionais estiveram muito mais investidas nas análises das categorias um e dois, se comparado à três e quatro - as práticas de análise por algoritmos da mídia digital produzidas pela indústria e pelos usuários.

Quais as implicações deste novo estágio das tecnologias da mídia para os estudos e teorias de comunicação, mídia e cultura? Temos aí novas perspectivas não só de objeto, como também de abordagens metodológicas, já que o que o autor chama de *media analytics* é exatamente “o uso de métodos computacionais para explorar amostras massivas de mídia digital contemporânea para elaboração de questões relevantes para os estúdios de mídia e as humanidades” (MANOVICH, 2018, p.483), Trata-se precisamente de uma nova abordagem metodológica possível para o campo de estudos.

> Nos últimos 10 anos, pesquisadores em ciências da computação, ciências sociais computacionais e humanidades digitais publicaram dezenas de artigos e estudos interessantes que aplicam estes métodos na análise de literatura, música, arte e redes sociais. (...) Contudo, a análise computacional de grandes volumes de conteúdo de mídia ainda não se tornou a norma nos estudos de mídia e comunicação. Para motivar pesquisa futura e lhe atribuir um nome, cunhamos o termo *computational media studies* (MANOVICH, 2018, p.483)

A proposta do autor, incentivando abordagens nas pesquisas em comunicação que tomem como base a análise dos conteúdos de mídia digital gerados por usuários, é o ponto de partida do nosso trabalho. Trata-se, contudo, de uma proposta que requer problematização e sofisticação nas propostas epistemológicas para se contornar tais problemas.

O próprio Manovich (2016) é o primeiro a reconhecer alguns problemas desse novo estágio, apontando como a abordagem computacional da comunicação acaba por infectar a cultura com um processo intenso de homogeneização. Aprofundando o processo industrial que tomou a cultura já observado por Adorno e Horkheimer em *A Dialética do Esclarecimento* (1944/2002), e atualizado por Lipovetsky em *A Estetização do Mundo* (2015), a algoritmização da mídia sofistica o envelopamento dos bens culturais para que se adequem precisamente às demandas de consumo dos internautas. Esse processo, contudo, possui duas dimensões: de um lado temos a epítome da formatação industrial da produção industrial. De outro, a capacidade de descentralização e direcionamento da distribuição de conteúdo permite formatação de produtos mais customizados e individualizados - fenômeno conhecido por Cauda Longa, que vai na contramão do diagnóstico de homogeneização. Nesse sentido, Schiafanella, Redi e Aiello (2015) colocam:

> A dinâmica da atenção nas mídias sociais tendem a obedecer leis de potência. A atenção se concentra em um número relativamente restrito de itens popuares, negligenciando a vasta maioria do conteúdo produzido pela massa. (...) Como resultado, conteúdos com baixa visibilidade e alta qualidade acabam amargando a cauda da distribuição de popularidade. Esse fenômeno é particularmente evidente no caso das comunidades de compartilhamento de fotos, onde grandes fotógrafos pouco integrados em comunidades sociais online permanecem praticamente invisíveis. (SCHIAFANELLA, REDI & AIELLO, 205)

2.1.2 Propostas epistemológicas críticas: Fuchs e Mallini

A proposta metodológica apresentada por Manovich, em linha com o novo estágio de desenvolvimento das tecnologias da comunicação, apesar de suas enormes potencialidades analíticas, abre margem para problematizações importantes. Tais críticas, de maneira geral, levantam para o risco que a análise puramente quantitativa a partir de métodos computacionais acabe por desconectar a pesquisa no campo de uma análise teórica mais profunda, bem como da compreensão crítica acerca do contexto no qual os fenômenos ocorrem. A empiria pura, que não compreende os mecanismos subjacentes a um dado fenômeno e apenas os descreve com técnicas computacionais, é a raiz deste problema.

Dois autores que trabalham essa crítica e constroem propostas de abordagens epistemológicas que incorporam o ferramental técnico são Christian Fuchs e Fábio Malini. Apesar das propostas metodológicas de cada um apresentarem distinções importantes, partem de críticas similares.

> O problema com analytics de Big Data é que frequentemente não consegue articular a pesquisa estatística e computacional a análises mais amplas dos significados, interpretações, experiências, atitudes, valores morais, dilemas éticos, usos, contradições e implicações sociais das redes sociais. (FUCHS, 2017, p.40)

De forma similar, o Fábio Malini coloca que:

> (...) uma análise estrutural de rede divorciada de uma sólida teoria social ficará restrita a uma visão matemática dos coletivos de perfis em rede. Um perfil com alta centralidade de grau pode obter esse valor com baixa ou nenhuma variedade de relações, e assim ser central para apenas um ou para muitos outros perfis. (MALINI, 2016, p.16)

Enquanto propostas epistemológicas, por outro lado, são bastante distintas. Fuchs tem como fundamento o materialismo histórico de Marx, enquanto Malini articula o perspectivismo de Viveiros de Castro com ideias da teoria ator-rede de Bruno Latour. Vamos apresentar cada uma delas já que trazem uma visão crítica distinta

do nosso trabalho. Isto por que, apesar de compartilharmos da problematização, trazemos saídas metodológicas são propostas radicalmente diferentes.

Fuchs (2017) defende uma mudança de paradigma nos estudos sobre mídia digital, substituindo os métodos de big data (que aproxima da pesquisa positivista da teoria administrativa da comunicação de Lasswell) pelo que chama de pesquisa crítica de redes digitais.

No paradigma vigente, teríamos uma aproximação explícita entre as ciências físicas e a ciências sociais computacionais (BERNERS-LEE, 2006). Nesse sentido, a obsessão pelo quantitativismo e o uso da computação nas ciências sociais teria levado ao desenvolvimento de novos métodos tanto na sociologia quanto nas humanidades em geral, levando inclusive ao surgimento das chamadas *Humanidades Digitais* (TERRAS, 2013).

Os perigos desse tipo de abordagem, seriam "parafraseando Habermas, o absolutismo da metodologia quantitativa pura, que esquece do verdadeiro papel educacional da academia e deixa de compreender os significados do conhecimento" (FUCHS, 2017, p.40). As abordagens puramente computacionais se furtam ao entendimento de teoria da comunicação, já que não estão fundamentadas em teorias sobre a sociedade que fazem alguns questionamentos básicos: o que é a sociedade? Como nós devemos compreender as estruturas de poder, as dinâmicas sociais e os determinismos históricos? Ou ainda, qual é o papel da comunicação nas sociedades, em especial no capitalismo? Sem fundamentos epistemológicos sobre tais questões, os métodos computacionais acabariam restritos à visão administrativa da comunicação que objetiva apenas elevar sua eficiência.

Mas qual é a alternativa? Fuchs (2017) resgata seis elementos da teoria marxista para propor uma alternativa de análise crítica. São eles: 1. A práxis da comunicação (participação daquele que teoriza enquanto comunicador), 2. A relação das tecnologias da comunicação com o contexto da globalização, 3. A filosofia dialética (que nos ajudaria a evitar análises unilaterais da mídia), 4. A análise de classes, que

permaneceria separando analiticamente os agentes sociais a partir da propriedade dos meios de comunicação, 5. A noção de crise do capitalismo na dinâmica histórica da sociedade e, finalmente, 6. A busca por alternativas ao capitalismo e à dominação.

A partir destes pilares, mesmo uma sociologia fundada em métodos computacionais seria capaz de contextualizar os fenômenos sociais em termos das dinâmicas de poder e estruturas históricas que os determinam. Nesse sentido, é uma abordagem conciliadora e interdisciplinar, aproximando o universo da sociologia clássica ao universo dos algoritmos de big data.

Alternativamente, Malini (2016) integra os métodos de *data science* a visão do perspectivismo. Diferentemente de Fuchs, os esforços de Malini são maiores no sentido de conciliar os aspectos técnicos característicos da ciência de dados à abordagens teórico-metodológicas já consolidadas de autores como Viveiros de Castro e Bruno Latour.

> (...) através do que denominamos de análise perspectivista de rede, uma abordagem teórico-metodológica que se dedica a estudar como as relações de compartilhamentos, respostas, inscrições, comentários, favoritadas, curtidas, sindicações na internet, formam rastros sociais que expressam, conjuntamente, pontos de vistas coletivos formando as partes da rede que, sobrepostas, compõem uma globalidade, podendo ser analisada ora a partir da topologia dos perfis (a posição da parte no todo), ora a partir de uma temporalidade dos laços (a parte do tempo como parte no todo). (MALINI, 2016, p.2)

Dividindo em suas duas principais dimensões, do ponto de vista teórico, o método perspectivista articula a teoria antropológica de Viveiros de Castro à ideias da Teoria do Ator-Rede de Bruno Latour. Já do ponto de vista empírico, apresenta os conceitos de “perspectiva espacial e perspectiva temporal nas análises de redes sociais, a partir da produção de mensagens escritas e imagens que os perfis fabricam no Twitter, Instagram e Youtube, fornecendo, assim, ao pesquisador pistas para a construção de objetos de pesquisas a partir da descoberta do caráter relacional dos dados” (MALINI, 2016, p.3)

Apesar do grande valor de ambas as proposições metodológicas de natureza crítica aqui apresentadas, nossa abordagem será um tanto quanto distinta. Tomando práticas já utilizadas em outros ramos das ciências sociais aplicadas como a Ciência Política, a Teoria dos Jogos e as Ciências Econômicas, vamos aqui propor enquanto via para a superação de algumas das problematizações ao paradigma de pesquisa apresentado por Manovich (2018) o emprego de modelos formais..

O uso de modelos, contudo, tem suas particularidades. Da mesma forma que abre todo um hall de possibilidades analíticas, bem como de rigor científico, também possui limitações que devem ser pontuadas. A seguir, abordamos profundamente a natureza dos modelos formais, bem como suas potencialidades para os estudos em comunicação, mídia e cultura.

2.2 Como pensar através de modelos

Este trabalho advoga pelo emprego de modelos formais na pesquisa em ciências da comunicação, em especial nos estudos sobre fenômenos de rede. Não o faz de uma perspectiva totalizante, mas enquanto alternativa a ser vislumbrada no horizonte de abordagens possíveis para a pesquisa no campo.

Se o entendimento de que o emprego da modelização constitui a única via para a análise científica sofre de reducionismo torpe, sua rejeição absoluta é igualmente míope. Modelos são criticados, muitas vezes, por argumentos simplistas, que tipificam a formalização das ideias a uma mera rejeição à complexidade, ou pior, a uma postura que nega a criticidade e a reflexividade. Tipificações como estas denotam apenas desconhecimento sobre as possibilidades que o emprego de modelos nos fornece, bem como sua multiplicidade.

O que apresentamos a seguir é uma reflexão sobre as potencialidades e limitações de se empregar modelos formais na pesquisa científica em comunicação. Ponderando sempre os limites dessa estratégia de análise, é importante que o

pesquisador tenha em mente os critérios para se escolher um modelo, bem como as melhores estratégias na hora de se articular modelos - teorias - evidências.

2.2.1 Vantagens e desvantagens do formalismo matemático

Recorrentemente, a matemática é empregada nos diversos ramos das ciências como barreira de entrada (RODRIK, 2015), que ao dificultar a legitimação daquele que possui o treinamento formal para operar acaba por separar o cientista do não cientista, quem pertence e quem não pertence ao campo (BOURDIEU, 1981). A defesa dos modelos deve vislumbrar exatamente o oposto - transcender o tecnicismo da aridez matemática para reconhecer no modelo um propulsor para a compreensão e a clareza de ideias complexas.

Nesse sentido, a matemática deve ser entendida como uma estratégia de comunicação adequada a contextos específicos, e não como um adereço para a sofisticação dos argumentos. Porter (1995) explica esta visão:

> Minha abordagem aqui entende números, grafos e fórmulas primeiro enquanto estratégias de comunicação. Eles são intimamente ligados com formas comunitárias, e portanto com a identidade social dos pesquisadores. (...) Eles convenientemente sintetizam uma multiplicidade de eventos e interações. São, assim como a linguagem verbal, um dispositivo para a comunicação. (PORTER, 1995, p.8)[1]

Mas o que existe de especial na linguagem das quantidades? Podemos entender a quantificação como uma espécie de tecnologia da distância (LATOUR, 2012; PORTER, 1995). Por tratar-se de uma linguagem altamente estruturada e restrita por regras, ela impõe ao seu usuário uma disciplina severa - disciplina quase uniforme na maior parte do mundo. Como as regras da matemática são amplamente conhecidas, ideias expressas matematicamente podem ser compartilhadas entre continentes com praticamente nenhuma distorção.

As vantagens de se produzir um discurso disciplinado são muitas, especialmente por garantir uma espécie de objetividade discursiva inacessível à linguagem verbal.

[1] Tradução livre

E, aqui, vale um breve comentário sobre a distinção entre Objetividade Mecânica e Objetividade Disciplinar.

Bruno Latour (2012) argumenta que a ciência é inseparável da tecnologia, e emprega o termo tecnociência para simbolizar sua imbricação. As caixas pretas de um cientista podem ser leis ou proposições causais, mas estas dependem, por sua vez, de instrumentais mecânicos para sua produção. A matemática, nesse sentido, garante maior objetividade mecânica na medida em que viabiliza que estas leis e proposições sejam compreendidas de forma uniforme entre os membros de um campo, enquanto que a objetividade disciplinar diz respeito às operações metodológicas realizadas pelos seus membros para chegar a estas proposições.

É com base nesta separação entre objetividade mecânica e disciplinar que o emprego ou não do formalismo matemático não deve ser entendido, por si só, como uma escolha metodológica de natureza política (PORTER, 1995). Enquanto que todas as decisões epistemológicas relacionadas à objetividade disciplinar manifestam uma cosmovisão do pesquisador, o emprego do formalismo e da modelização manifestam apenas a opção por um discurso mecanicamente mais objetivo. Atribuir a esta escolha um caráter político, nesse sentido, seria o mesmo que politizar o uso da linguagem verbal - independentemente das ideias que estejam sendo expressas pelo discurso. Da mesma forma, o emprego do formalismo matemático não deve ser confundido por objetividade disciplinar de maneira alguma, já que nada garante acerca do conjunto de decisões epistemológicas do pesquisador.

Mas o que de fato define a modelização dos argumentos em ciências sociais? Weintraub (2002) diferencia axiomatização, matematização e modelagem da seguinte forma: axiomatização é a redução das conclusões a um conjunto de axiomas dos quais as derivamos; a matematização é o emprego de técnicas como geometria e cálculo na construção dos argumentos; e a modelagem é a articulação de diferentes teorias em cadeias causais.

> [modelos] são simplificações, criadas para iluminar como mecanismos específicos operam isolando eles de outros aspectos. Um modelo foca nas causas particulares e busca articular os mecanismos pelos quais operam ao longo do sistema. Ao construir um modelo, temos um mundo artificial, em que conexões específicas entre partes do todo são reveladas - conexões que são difíceis de distinguir contemplando o mundo em sua complexidade. (RODRIK, 2015, p.12)

Como vantagens, o uso de modelos matemáticos na expressão de teorias nos garante: obtenção de resultados não intuitivos através de dedução matemática, verificação objetiva das condições mínimas para uma proposição, a padronização dos métodos e a articulação mais clara das causalidades presentes em uma teoria (WEINTRAUB, 2008). De modo geral, seu uso ilumina exatamente do que as previsões de uma teoria dependem para de fato ocorrer, pois trazem clareza acerca dos mecanismos causais que operam em cada proposição teórica.

> A matemática cumpre dois papéis nos modelos, nenhum dos quais é causa para glórias: clareza e consistência. Primeiro, a matemática garante que os elementos de um modelo - as suposições, mecanismos comportamentais e resultados principais - são postos de forma clara e transparente. Uma vez que um modelo é posto de forma matemática, suas proposições são óbvias para todos que conseguem compreendê-lo. A segunda virtude da matemática é garantir a consistência interna do modelo - de forma simples, significa que as conclusões derivam das suposições iniciais. (RODRIK, 2015, p. 32)

Como desvantagens, temos uma tendência de valorização excessiva do instrumento (que leva à uma fetichização dos modelos formais). Quando a matemática é posta como única forma de se pensar rigorosamente sobre um dado fenômeno, muitas vezes passa-se a restringir os objetos àqueles passíveis de formalização. Isso acaba por circunscrever o tipo de problema que é tratável em uma dada área, bem como o tipo de configuração pela qual estes problemas são endereçados (Weintraub, 2008). Problemas em áreas onde a formalização é predominante (como a Economia) passam a ser escolhidos não por sua relevância, mas por sua tratabilidade matemática - aprofundando o hiato entre teorias e abordagens empíricas.

Apesar de tudo, é importante ressaltar a distinção entre os modelos nas ciências naturais e modelos usados em ciências humanas. Se um modelo da física expressa uma lei que vai funcionar independentemente do contexto, nas humanidades temos uma multiplicidade deles para analisar um mesmo fenômeno. Cada um elege seus mecanismos causais determinantes para a ocorrência do fenômeno, mecanismos esses que operam sob certas condições. Quando bem usado, o que torna um modelo indispensável é que ele "captura o aspecto mais relevante da realidade em um dado contexto. Diferentes contextos - configurações sociais, países, períodos históricos - exigem modelos diferentes" (RODRIK ,2015, p.10).

2.2.2 Critérios para a escolha do modelo

Diante de um cenário em que uma multiplicidade de modelos está disponível para analisar um mesmo fenômeno, o processo de escolha daquele que melhor apreende suas causas centrais deve ser realizado cuidadosamente.

Naturalmente experiência e bom senso são um primeiro passo importante, mas alguns critérios razoavelmente simples podem ser seguidos nessa escolha. Todo modelo é, por definição, uma simplificação, incorporando aquilo que considera relevante para um fenômeno e deixando de fora diversos outros fatores. Esta seleção parte de suposições iniciais que são a base do modelo. O primeiro passo é detectar as *suposições críticas*, isto é, aquelas suposições que "se substituídas em direção a hipóteses mais realistas iriam produzir diferenças substantivas nas conclusões geradas pelo modelo" (RODRIK, 2015, p. 54).

Identificadas as suposições críticas, o pesquisador deve se perguntar se elas são realistas para o fenômeno que será analisado. O realismo das suposições críticas é a base para que as previsões do modelo sejam condizentes com o fenômeno. É uma verificação que, idealmente, se faz com dados empíricos.

Em seguida, o pesquisador deve verificar se os mecanismos causais do modelo estão de fato operando. Para isto, deve avaliar se as implicações centrais e diretas

daquele modelo são observadas na realidade. Por fim, avalia-se se as implicações incidentais - geradas no geral por manipulação algébrica do modelo - são também válidas para o fenômeno em questão.

Todo esse processo de seleção do modelo ideal, descrito em Rodrik (2015), pode parecer extremamente abstrato quando está desconectado da prática da pesquisa. Contudo, conforme apresentamos alguns modelos e suas respectivas aplicações, veremos que estes procedimentos podem ser aplicados de forma bastante literal na identificação do modelo que melhor se encaixa em cada contexto.

Um último tópico que vale ressaltar é a forma como teorias e modelos se relacionam na prática científica. Alves (1981) entende que os modelos são representações do mundo, que articulam diferentes teorias. Cada mecanismo de causação expressa, para modelos das ciências sociais, um padrão comportamental que é, por sua vez, fruto de teorias.

Modelos respondem a questões de como um fenômeno ocorre. Como um aplicativo tornou-se popular? Como um vídeo no youtube influencia as decisões das pessoas do que vestir? Como as vendas de uma marca reagem a propaganda? Por outro lado, as teorias respondem aos porquês desse fenômeno - e esses porquês são exatamente os mecanismos comportamentais subjacentes à estrutura do modelo. Por que uma pessoa baixa aplicativos? Por que pessoas se vestem com base no que assistem? Essa divisão clarifica bem a distinção entre os papéis de modelos e teorias para a análise.

2.3 Juntando as partes: a importância de modelos na era do Big Data

De fato, as alternativas postas pela quantidade de dados disponíveis e pelo significativo avanço da capacidade computacional disponível abre possibilidades formidáveis para as pesquisas em comunicação, mídia e cultura. O deslocamento metodológico proposto por Manovich (2018) é o ponto de partida para nossa capacidade de visualizar como nunca antes o mapa de interações sociais e fenômenos culturais que ocorrem mediados pelas tecnologias da computação. O paradigma da *mídia analytics* finalmente nos permitirá acessar empiricamente dimensões ocultas do universo social.

Não obstante, o risco de uma empiria pura, desgarrada de teoria, fundada apenas em padrões encontrados por algoritmos é verdadeiro e cresce especialmente com estas abordagens. As críticas colocadas por Fuchs (2017) e Malini (2018), que alertam para o risco de abandono das perspectivas críticas e a desconexão dos métodos empíricos em relação às fundações teóricas para compreensão dos fenômenos devem ser levadas em conta.

Modelos seriam, nesse sentido, mais uma alternativa diante desse perigo. Modelos constituem a perfeita articulação entre teorias e empiria. Eles nos permitem abraçar o formidável universo empírico que temos diante de nós sem se desprender de uma disciplina epistemológica rígida para apreender este empírico - isto é, as teorias imbricadas na construção do modelo.

Mas modelos permanecem úteis na era do big data?

O que advogamos aqui é não só que sim, mas que constituem a melhor possibilidade de se canalizar o potencial analítico liberado pelas tecnologias computacionais sem perdermos de vista os fundamentos teóricos da área. De fato, o avanço extraordinário das técnicas estatísticas e computacionais nos permitem identificar novos padrões e regularidades que ficavam ocultas. Conseguimos apreender a complexidade dos fenômenos sociais em um nível de detalhe inédito.

E a complexidade, sabemos, gera grande apelo. Quem poderia negar que a cultura e a sociedade são sistemas complexos? Escreve Duncan Watts, “Ninguém de fato concorda sobre o que de fato faz de um sistema complexo (...), mas é usualmente aceito que a complexidade emerge de um conjunto de componentes interagindo de formas não lineares” (WATTS, 2011, p.23).

O fato é que sem modelos menores e mais simples, a análise computacional estrita é ininteligível. Rodrik (2015) aborda por duas perspectivas: primeiro, as suposições e as relações comportamentais que são embutidas nos modelos de grande escala devem vir de algum local (isto é, das teorias). Segundo, na suposição de que podemos construir modelos de grande escala sem qualquer fundação teórica, o uso de técnicas de big data nos traria regularidades empíricas e elevada capacidade de previsão, mas nunca conhecimento por si. Isto, por que são “pequenas caixas pretas: conseguimos ver o resultado, mas não o mecanismo que está operando internamente” (RODRIK, 2015, p.53). Portanto, para se extrair qualquer conhecimento destes resultados empíricos é necessário identificar os mecanismos comportamentais e as suposições teóricas que estão sendo feitas - isto é, qual modelo é subjacente àquele fenômeno e que resulta naquelas observações.

Em outras palavras, para se extrair conclusões dos resultados gerados pelos métodos de Big Data, precisamos construir uma versão simplificada e menor do que foi feito - isto é, um modelo.

3. CONCEITOS INSTRUMENTAIS PARA O ESTUDO DE REDES

Antes de passar para a apresentação da coleção de modelos formais, precisamos nos familiarizar com algumas noções anteriores que fundamentam estes modelos. O que delineamos a seguir é a linguagem para um tratamento formal dos fenômenos de rede. Essa linguagem diz respeito a formas de representação dos modelos, mecanismos comportamentais e resultados primordiais para que possamos avançar para um grau mais elevado de sofisticação.

Os fenômenos de rede são aqueles em que a configuração do todo afeta a realidade das partes. Diante de um evento, não se quer saber o que acontecerá com cada componente, mas como esse choque será perpetuado entre eles. Nesse sentido, o estudo de redes está buscando propriedades gerais para o comportamento coletivo - as quais frequentemente emergem de mecanismos comportamentais individuais. Dizemos que uma rede é um sistema complexo uma vez que, na maioria das vezes, estes comportamentos são carregados de imprevisibilidade. Contudo, enquanto que abordagens como a teoria do caos apenas assumem a natureza imprevisível desses eventos, o tratamento a partir de redes implica a crença de que existem propriedades previsíveis típicas desse tipo de estrutura. O acesso a essas propriedades ocorre a partir de duas dimensões.

A primeira delas é a estrutura da rede - isto é, quem está ligado a quem. Redes são conjuntos de elementos com seus respectivos links. A estrutura, que formalmente chamamos de topologia, descreve a configuração de nós e links específica de cada rede. Para sua representação formal, empregamos um recurso específico chamado de grafos. O estudo de grafos, ramo da matemática aplicada, nos trará insights para entendermos como a topologia de cada rede é determinante na compreensão de seu funcionamento.

Com os grafos já conseguimos derivar alguns resultados fundamentais sobre redes, que descrevem dinâmicas de grupos sociais e são pilares base para modelos mais sofisticados. Dentre estes resultados clássicos estão a propriedade dos mundos pequenos, a ideia de redes aleatórias em contraste a redes preferenciais e a importância dos laços fracos.

A segunda dimensão servirá para compreendermos os mecanismos de formação das redes. Isto é, como as expectativas dos indivíduos sobre os comportamentos dos demais influenciam suas decisões - e, consequentemente, a configuração do todo. A teoria dos jogos, que une conceitos de matemática aplicada e psicologia, descreve dinâmicas de comportamentos estratégicos. Através dela, compreendemos os mecanismos comportamentais individuais que levam os agentes a tomarem decisões diante de incentivos específicos. Se estudamos os grafos para acessar as propriedades da estrutura de uma rede, através de teoria dos jogos entendemos seus mecanismos de formação.

Diferentemente dos demais capítulos, aqui as citações são esparsas. Isso, porque estamos delineando resultados já muito consolidados na matemática aplicada e em teoria dos jogos - áreas onde a própria natureza do avanço científico dispensa a menção à origem dos resultados. De forma geral, são compilações de algumas das principais obras sobre o estudo formal de redes - sendo as mais referenciadas *Networks, Crowds and Markets: reasoning about a highly connected world* (EASLEY, KLEINBERG, 2010), *Analysing Social Networks* (BORGATTI, EVERETT, JOHNSON, 2013), *Networks: an introduction* (NEWMAN, 2010), *The Structure and Dynamics of Networks* (BARABÁSI, NEWMAN, WATTS, 2006).

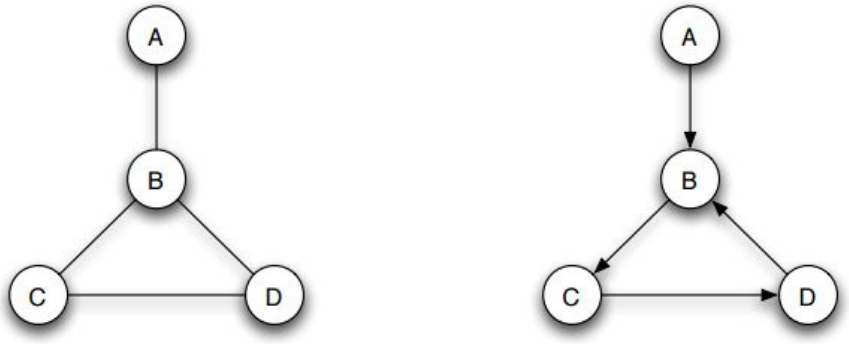
3.1 Matemática das redes: introdução a teoria dos grafos

3.1.1 Taxonomia básica

O grafo é a representação formal de uma rede, sendo extremamente útil para estudarmos sua estrutura topológica. Os elementos básicos de um grafo são os nós e os links. Cada nó representa um componente distinto daquela rede, e N é a quantidade total de nós por rede. Já os links são as interações entre nós. Representamos o total de links em uma rede pela letra L.

Os links podem ser direcionados ou não direcionados a depender da rede. Links direcionados apontam de A para B. É o caso de uma rede de ligações telefônicas, ou rede de emails. Já em links não direcionados a informação pode correr para todos os lados. É o caso da rede elétrica, de uma rede de amigos, e da própria internet.

Figura 3: Grafo Direcionado e Grafo Não Direcionado



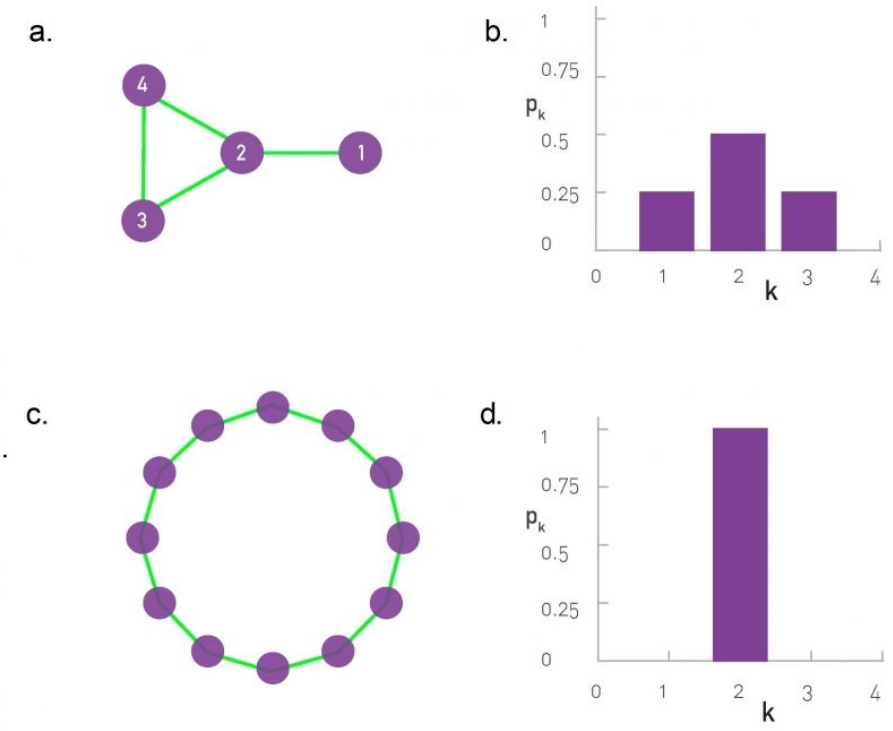
N = 4, L = 4, não direcional N = 4, L = 4, direcional

Fonte: Easley e Kleinberg, 2010, p.24

Vale notar que grafos e redes não são a mesma coisa. O grafo é a representação teórica e matemática de uma rede. É possível construirmos grafos teoricamente consistentes mas que, de fato, não representam nenhuma rede real.

Chamamos de Grau de um nó a quantidade de links associados a ele, e denotamos por Ki o grau do nó *i*. Da mesma forma, o grau de distribuição em uma rede indica a probabilidade Pk de que um nó aleatório da rede tenha K links. O grau de distribuição médio é fundamental para a topologia da rede, pois define em média o quão densa é aquela rede, bem como as propriedades associadas a ela.

Figura 4: Relação entre topologia e distribuição dos graus



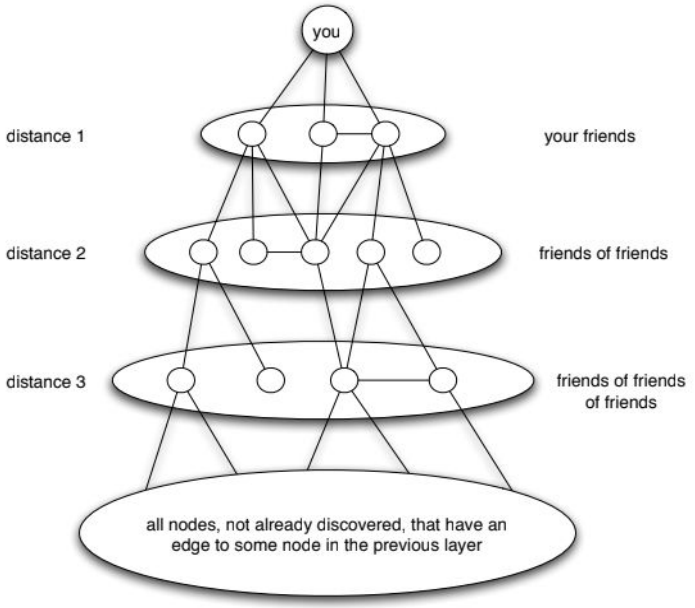
Fonte: *Bárbasi*, 2006, p.15

Outro aspecto na caracterização dos grafos é o peso dos links. Na maioria das vezes, trabalhamos com redes em que os links possuem todos o mesmo peso. Contudo, sabemos que existem conexões fortes e fracas, e dependendo da dinâmica que está sendo estudada essa força deve ser inserida no modelo. Portanto, redes que são ponderadas são aquelas em que existem links mais fortes e links mais fracos.

Podemos pensar que em um grupo de amigos alguns laços são mais fortes que outros. Na rede do comércio internacional, a quantidade de bens transacionada entre dois países (que seriam nós) determina o peso dos links entre eles. Já em uma rede social, podemos pensar que a taxa de interação entre dois perfis (com mensagens, curtidas, etc) nos dá o proxy da força daquela relação. Quando olhamos para redes reais, a maioria delas é ponderada. Contudo, para fins de análise, a força dos links nem sempre é importante, o que nos leva a tratar a maior parte das redes que analisaremos como não ponderadas.

Ainda nessa caracterização taxonômica dos grafos, os conceitos de comprimento e distância precisam ser bem definidos já que não são totalmente intuitivos. O comprimento em uma rede é o número de nós associado a um dado trajeto. Diferentemente do usual, o comprimento nos grafos nada tem a ver com comprimento físico. Da mesma forma, a noção de distância é dada pelo menor comprimento possível entre dois nós. Alguns dos resultados mais interessantes que vamos obter nesse primeiro momento dizem respeito à relação entre o grau dos nós de uma rede, e a distância média entre estes nós.

Figura 5: Distâncias em uma rede com nós de grau 2



Fonte: Easley e Kleinberg, 2010, p.33

3.1.2 Conectividade

As métricas de conectividade começam a viabilizar uma análise do grau de integração de cada rede, que, por sua vez, constituem a base para os resultados primordiais que iremos apresentar.

A primeira métrica é o coeficiente de clusterização, denotado por *Ci*. Esse coeficiente captura o grau pelo qual um conjunto específico de nós está integrado. Isto é, quanto os adjacentes a um nó central estão ligados entre si. Para um nó *i* de grau k, o coeficiente de clusterização local é dado por:

$$C = 2k_i/[k_i(\ k_i\ -1)]$$

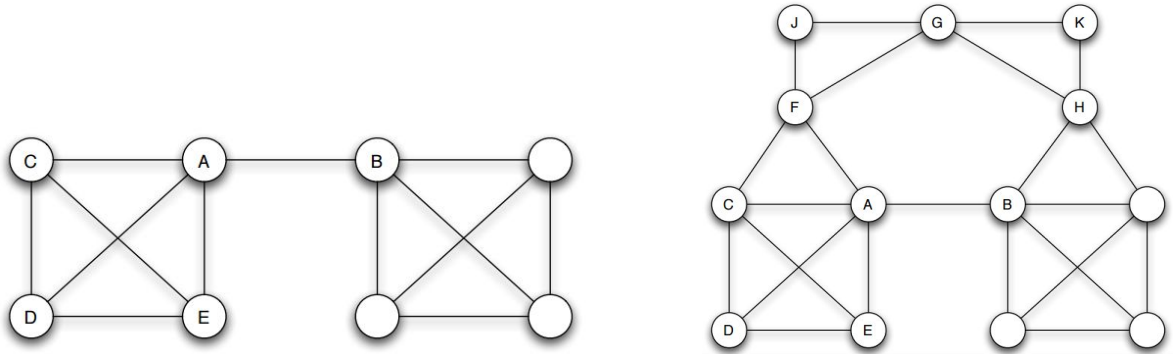
Em outras palavras, calcula-se 'quantidade efetiva de links / quantidade possível de links', valor que pode variar de 0 (mínima integração) a 1 (máxima integração local). O quão maior for a interconexão entre a vizinhança de um dado nó, maior será o coeficiente de clusterização local.

Em redes reais, o grau de clusterização capta o efeito chamado ‘fechamento triádico’, pelo qual se duas pessoas em uma rede possuem um amigo em comum, existe uma probabilidade elevada de que eles se tornem amigos no futuro. Pelo coeficiente de clusterização, temos a probabilidade de que dois amigos aleatórios do indivíduo A se tornem amigos entre si. Se o coeficiente de clusterização de A for mais próximo de 1 (isto é, sua rede é mais densa), a probabilidade de que se tornem amigos é elevada. Caso seja mais próximo de zero, a probabilidade é baixa.

A partir da noção de cluster, conseguimos deduzir um resultado teórico que será muito útil para a análise de redes reais. Trata-se da importância de pontes locais e dos links fracos. Definimos uma ponte local como o específico link entre A e B que, se desaparecer, coloca A e B em componentes distintos da rede.

Contudo, o conceito de ponte local não se encerra aí. Todo link entre A e B que, se desaparecer, coloca A e B a uma distância superior a dois nós também é uma ponte local. Nesse caso, a ponte local é responsável por conectar dois grandes blocos de elevado coeficiente de clusterização mas que, se sumir, passam a estar fracamente conectados. Nesse sentido é que se destaca a importância dos links fracos: enquanto que os links fortes são característicos de redes densas, eles costumam manter conectados nós que já estão próximos; por outro lado, através dos links fracos temos a possibilidade de integração entre blocos de nós pouco conectados. Mais a frente veremos, a partir do experimento de Granovetter, um exemplo empírico que demonstra essa importância.

Figura 6 - Pontes Locais e Clusters desconexos vs. Pontes e Clusters Conectados



Fonte: Easley e Kleinberg, 2010, p.40

Para uma definição mais formal de pontes locais recorremos a Easley e Kleinberg (2010): todo link que não faz parte do triângulo de um fechamento triádico é uma ponte local. Da mesma forma, se A tem links com B e C, então o link B - C tem maior chance de ocorrer se A - B e B - C forem ambos links fortes.

3.1.3 Alguns resultados da teoria dos grafos

As características dos grafos por si só são suficientes para chegarmos a alguns resultados muito úteis na análise de redes. Vale notar que ainda não são modelos como aqueles que apresentaremos no capítulo a seguir, já que não estão presentes os mecanismos comportamentais para explicar as dinâmicas de formação das

redes. O que temos são propriedades genéricas dos grafos, capazes de informar sobre a estrutura topológica de grande parte das redes que conhecemos.

A ideia de Mundos Pequenos nasce com Paul Érdos e Alfréd Rény em seu estudo de redes aleatórias. Sem uma base comportamental para acessar a dinâmica de formação das redes, Érdos simplifica e assume que a quantidade de links em cada nó é absolutamente aleatório. Sob tal suposição, a quantidade de links por nó é aproximadamente a mesma - chamemos essa quantidade de *K.* A proposição fundamental é que redes, em geral, são mundos pequenos: a distância média entre dois nós nunca será muito grande.

Ainda que intuitivamente seja difícil de visualizar, basta pensar que se todos os N nós possuem *k* links, então necessariamente a distância máxima que precisamos percorrer de um nó a outro é dada por $d = ln\ N / ln\ k$. Isso indica que, para qualquer que seja o N, quanto maior o grau médio daquela rede (*k*) menor será a distância máxima a ser percorrida entre dois nós. Algebricamente esse resultado é impressionante: supondo uma rede de 1.000.000 de nós (N), se cada nó tiver em média 10 links, a distância máxima entre dois nós será d = 6. Isto é, com não mais do que 6 passos você consegue conectar quaisquer dois nós dessa rede.

A partir destes resultados que se chegou a ideia anedótica dos 6 graus de separação, termo cunhado por Steve Milgram. Em seu clássico experimento, Milgram enviou cartas aleatórias indicando uma pessoa alvo. Aquele que recebesse a carta deveria, por sua vez, enviar a carta diretamente para a pessoa alvo caso a conhecesse e, caso contrário, enviar para a pessoa que teria a maior chance de conhecer o alvo. Ao receber, o alvo deveria enviar de volta a carta para o pesquisador, indicando por quantas mãos ela havia passado. Como o número máximo do experimento foi 6, popularizou-se a hipótese de que quaisquer duas pessoas estariam separadas por não mais do que 6 outras de distância.

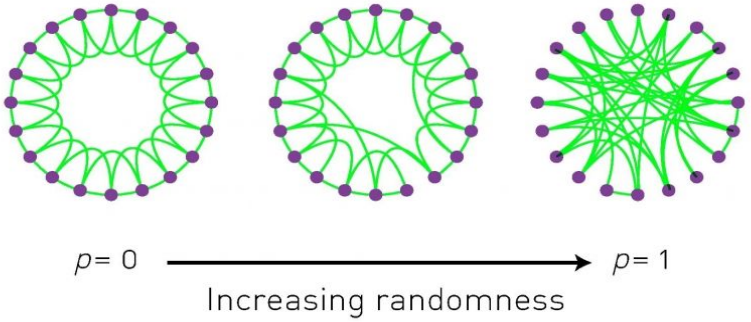
A despeito do alto poder explicativo, a ideia dos mundos pequenos vai na contramão das descobertas de Mark Granovetter sobre a importância dos vínculos

sociais fracos. Ao avaliar empiricamente o índice de clusterização de algumas redes, Granovetter conclui que a maior parte delas é constituída de uma coleção de grafos altamente interconectados (clusters), em que cada cada nó está ligado a todos os demais dentro de seu cluster, e cada grafo grafo completo está ligado a outros por ligações fracas. Nesse sentido, se A e B formam um link forte, é provável que suas redes sejam altamente sobrepostas. Por outro lado, se formam um link fraco (isto é, uma ponte local), provavelmente fazem parte de clusters distintos, cujos links possuem pouca sobreposição. São estas pontes as responsáveis por garantir a integração do todo na rede.

De forma anedótica, Granovetter menciona a rede de empregabilidade. Explica o autor que, em círculos sociais altamente integrados, as chances de haver uma indicação de emprego são baixas, já que os contatos de um indivíduo via de regra se sobrepõem aos contatos do outro. Por outro lado, quando dois indivíduos formam uma ligação fraca, seus círculos sociais apresentam baixa sobreposição (índice de clusterização baixo), de modo que a probabilidade de que um apresente ao outro um contato novo é muito maior.

Tanto o resultado de Milgram quanto o de Granovetti são empiricamente observáveis. Mas do ponto de vista teórico, é possível conciliar a ideia dos mundos pequenos com dos links fracos? O que os matemáticos Watts e Strogatz fazem é exatamente apresentar um modelo de grafo que conserva as baixas distâncias e insere o grau elevado de clusterização da rede conectado por pontes locais. Trata-se da chamada ‘rede em círculo’, um resultado teórico fundamental para o desenvolvimento das teorias de redes.

Figura 7 - Mundos Pequenos em redes aleatórias e não aleatórias



Fonte: *Bárbasi*, 2006, p.30

Contudo, se o modelo de Watts e Strogatz é consistente com as propriedades dos grafos que apresentamos, não existe nada que justifique do ponto de vista teórico a existência de laços mais fortes e mais fracos em uma rede. É por isso que veremos a seguir o conjunto de mecanismos comportamentais, oriundos da teoria dos jogos, capazes de explicar as dinâmicas de formação de redes.

3.2 Pressupostos comportamentais: Teoria dos Jogos

Em um sistema complexo, a noção de conectividade significa essencialmente duas coisas: primeiro, "uma estrutura de links interconectados; e segundo, a interdependência dos indivíduos que coabitam o sistema, de modo que os resultados para qualquer um depende dos comportamentos combinados dos demais" (EASLEY, KLEINBERG, p.153, 2010). Enquanto que a estrutura da rede é endereçada formalmente utilizando teoria dos grafos, para entendermos conectividade no nível comportamental empregamos os resultados e a linguagem da teoria dos jogos.

Novamente, vamos introduzir conceitos básicos, mas que constituem a fundação para os modelos de redes mais sofisticados. A linguagem será introdutória, investindo mais na compreensão dos resultados do que nas demonstrações matemáticas - que fogem ao escopo do trabalho. Como base, além dos já mencionados *Networks, Crowds and Markets: reasoning about a highly connected world* (EASLEY, KLEINBERG, 2010), *Analysing Social Networks* (BORGATTI,

EVERETT, JOHNSON, 2013), *Networks: an introduction* (NEWMAN, 2010), *The Structure and Dynamics of Networks* (BARABÁSI, NEWMAN, WATTS, 2006), também utilizamos manuais específicos de teorias dos jogos em nível intermediário, sendo eles *Game Theory: an introduction* (TADELIS, 2013) e *A Course in Game Theory* (OSBORNE, RUBINSTEIN, 1994).

3.2.1 As características de um jogo

A teoria dos jogos foi criada para endereçar situações estratégicas em que os resultados das decisões individuais dependem não só de como se escolhe entre diversas opções, mas também das escolhas feitas pelas pessoas interagindo com ele. Nesse sentido, a decisão individual passa a considerar como os demais indivíduos do sistema estão se comportando. A configuração final (isto é, o equilíbrio) será resultado de todos os agentes decidindo desta forma.

Isso nos indica que as ideias em teoria dos jogos são mais do que apenas um modelo de como as pessoas raciocinam ao interagir com outros. Ela nos permite visualizar quais comportamentos são sustentáveis quando observados em uma população mais ampla. Para começarmos a entender, é necessário definir o ecossistema teórico no qual estas interações ocorrem. Isto é: o jogo.

Um ambiente estratégico é aquele em que agentes buscam otimizar suas escolhas tendo em vista o que as escolhas dos demais. Nesse sentido, o jogo é a situação estratégica em que agentes a situação estratégica na qual agentes que interagem entendem como suas ações afetam a si e aos outros. Esse princípio é conhecido por *Common Knowledge* (TADELIS, 2013), e nos garante que nos jogos, diante de um evento, todos sabem do evento, e todos sabem que todos sabem.

Para caracterizar um jogo, precisamos de:

1. Conjunto de participantes (jogadores)
2. Cada jogador possui um conjunto de escolhas possíveis a tomar (estratégias)

3. Para cada estratégia, os agentes receberão um payoff conhecido por eles. O conjunto de payoffs, contudo, depende também das decisões dos outros jogadores.

Nosso objetivo é endereçar como os jogadores irão se comportar em um dado jogo - e quais os resultados do conjunto de comportamentos. Tratamos inicialmente de jogos estáticos (jogadores decidem ao mesmo tempo), mas veremos também como jogos dinâmicos (jogadas sequenciais) interferem nos resultados obtidos.

Para garantir tratabilidade, são feitas algumas suposições. Primeiro, os payoffs são valores que resumem tudo aquilo para o que o jogador se importa. Isso não supõe nenhum individualismo estrito, já que os resultados das decisões para a vida dos demais jogadores pode também estar embutido nos valores dos payoffs. Os valores dos payoffs devem ser capazes de refletir o grau de felicidade dos jogadores com cada resultado possível do jogo.

Também assumimos que cada jogador tem conhecimento completo da estrutura do jogo. Isto é, as estratégias disponíveis a ele e aos jogadores, e qual será seu payoff para cada conjunto de escolha. Por fim, cada indivíduo escolhe sempre de modo a maximizar seu payoff.

Para clarificar, utilizamos o exemplo apresentado por Easley e Kleinberg (2010). Um estudante universitário tem duas opções a escolher: preparar uma apresentação, ou estudar para uma prova. Se estudar para a prova, espera tirar nota 92. Caso não estudar, a nota será 80. Por outro lado, em relação a apresentação, você depende da escolha do seu colega de turma. Se os dois decidirem preparar, a nota será 100. Se só um dos dois preparar, a nota dos dois será 92. E se nenhum preparar a nota conjunta será 84. Nesse sentido, os payoffs são as médias possíveis entre apresentação e prova. As estratégias possíveis são preparar a apresentação ou estudar para a prova. Abaixo, um quadro com os payoffs possíveis:

Figura 8 - Tabela de Payoffs em um jogo simultâneo

		Your Partner: *Presentation*	Your Partner: *Exam*
You	*Presentation*	90, 90	86, 92
	Exam	92, 86	88, 88

Fonte: Easley e Kleinberg (2010), p.158

A teoria entra agora: qual será o resultado final deste jogo? Basta pensar como cada jogador nos dois cenários possíveis:

- Se o seu colega decidir preparar a apresentação, você consegue o maior payoff estudando para o exame;
- Se o seu colega decidir estudar para o exame, você consegue o maior payoff também estudando para o exame.

Em ambos os cenários, os incentivos ocorrem na direção de estudar para o exame. Como ambos os jogadores recebem o mesmo incentivo, ambos estudam para o exame, levando finalmente ao equilíbrio: cada um terá média 88, e estudará.

Esta situação é análoga ao clássico dilema do prisioneiro, e é útil para introduzirmos o conceito de Equilíbrio de Nash, um dos resultados mais importantes obtidos no século XX.

Em teoria dos jogos, o equilíbrio constitui um perfil de estratégia que é o mais provável de ocorrer, já que resulta das ações racionais dos jogadores. Especificamente, o *Equilíbrio de Nash* é o perfil de estratégias para o qual cada jogador escolhe a melhor resposta a todos os outros jogadores (TADELIS, 2013). Os requisitos para um equilíbrio ser caracterizado como equilíbrio de Nash são: 1. Cada jogador escolhe a melhor resposta dadas suas crenças sobre a ação dos demais jogadores; 2. As crenças sobre os demais são corretas (*Common Knowledge*).

A questão que fica é, para um jogo genérico, como conseguimos identificar qual é o equilíbrio de Nash? Para tanto, precisamos avançar um pouco na teoria.

3.2.2 Crenças, Melhor Resposta e Racionalização

Para a identificação do Equilíbrio de Nash em um jogo, precisamos começar definindo a *melhor resposta*. Dadas as jogadas possíveis de todos os N - 1 oponentes em um jogo com N jogadores, a melhor resposta é a estratégia escolhida pelo jogador i que resulte em payoff maior ou igual a qualquer outro perfil de estratégia (dele e dos demais). Trata-se da melhor escolha dadas as crenças dos jogadores sobre seus oponentes. A crença do jogador i constitui um perfil de estratégias possíveis dos seus oponentes, isto é, quais estratégias o jogador supõe que seus oponentes irão jogar. No exemplo do universitário, trata-se da crença de que o oponente irá jogar ‘estuda’ em vez de ‘prepara a apresentação’, levando o jogador a jogar também ‘estuda’.

A racionalização é, por sua vez, a eliminação iterada de estratégias que nunca são a melhor resposta dos jogadores a partir de suas crenças. Pelo processo de racionalização, chegamos ao hall de estratégias que constituem um equilíbrio de nash. Vejamos um novo exemplo, também obtido de Easley e Kleinberg (2010).

Suponha um mercado com duas firmas, em que cada uma lançará um produto. Nesse mercado existem dois tipos de consumidores, aqueles que compram apenas a versão de 'Preço Baixo', e aqueles que comprariam somente a de 'Preço Alto'. Vamos assumir que os lucros da venda de ambos para as firmas seja o mesmo. São premissas do jogo:

- Ambas as firmas desejam maximizar o lucro
- 60% do mercado compra a versão de 'Preço Baixo' e 40% a de 'Preço Alto'
- A firma 1 é mais popular, de modo que se operar no mesmo segmento da firma 2 a distribuição do market share será necessariamente 80% - 20%. Se uma firma estiver operando sozinha no segmento vai obter 100% das vendas.

A partir desse desenho, temos a seguinte distribuição de payoffs (assumindo que o payoff é diretamente ligado à proporção do mercado total conquistado):

Figura 9 - Tabela de Payoffs em um jogo competitivo

		Firm 2	
		Low-Priced	*Upscale*
Firm 1	*Low-Priced*	.48, .12	.60, .40
	Upscale	.40, .60	.32, .08

Fonte: Easley e Kleinberg (2010), p.165

Para obtermos o equilíbrio de Nash desse jogo, basta avaliar a melhor resposta para cada caso possível:

Se a firma 2 jogar 'Preço Baixo', a firma 1 joga 'Preço Baixo'; se a firma 2 jogar 'Preço Alto', a firma joga 'Preço Baixo'. Isso significa que, para a firma 1, jogar 'Preço Baixo' é uma estratégia dominante, e 'Preço Alto' uma estratégia dominada. Uma estratégia dominante é aquela que é melhor resposta independentemente da crença. Já uma dominada nunca é melhor resposta.

Como para a firma 1 jogar 'Preço Alto' é uma estratégia dominada, a crença da firma 2 é de que a firma 1 necessariamente jogará 'Preço Baixo'. O processo de racionalização para encontrarmos o equilíbrio de nash passa por eliminar as estratégias dominadas. Em seguida, basta ver qual se torna a estratégia dominante para a firma 2: pela crença de que a firma 1 jogará ‘Preço Baixo’, a melhor resposta para a firma 2 é jogar ‘Preço Alto’.

Chegamos, assim, ao equilíbrio de Nash, em que a firma 1 joga ‘Preço Baixo’ e a firma 2 joga ‘Preço Alto’. Como definido, ambas estão optando pela estratégia que é a melhor resposta frente às crenças acerca da outra. O processo de racionalização mais simples ocorre a partir da eliminação iterada das estratégias que são dominadas, chegando-se finalmente aos equilíbrios.

3.2.3 Overview: Jogos Dinâmicos e Jogos Evolucionários

Ainda que a simplicidade dos jogos simultâneos com dois jogadores seja instrutiva sobre os mecanismos de decisão em ambientes estratégicos, na maioria das situações a complexidade é muito maior. O número de jogadores pode tender ao infinito, e as interações podem ocorrer em rodadas ou repetidas vezes. Para esses casos, os pressupostos permanecem os mesmos, mas alguns resultados mudam sensivelmente.

Jogos Dinâmicos

Jogos dinâmicos são aqueles que ocorrem em múltiplas rodadas. Eles podem ser de duas formas: ou sucessivas repetições de um jogo simultâneo, ou com um jogador jogando de cada vez. Para ambos os casos, os resultados de equilíbrio podem ser distintos daqueles observados no jogo simultâneo de uma rodada.

No caso das repetições sucessivas de um mesmo jogo, a repetição do jogo por um número suficiente de vezes pode levar os jogadores a estados de cooperação que não ocorreriam em uma única rodada. Tome o exemplo dos universitários que devem decidir entre estudar e preparar a apresentação. Ainda que em uma única rodada os incentivos sejam para que ambos estudem, se forem repetidamente defrontados com a mesma situação, eventualmente podem entrar em um estado de cooperação no qual os dois preparam a apresentação - no qual ambos estão melhores, diga-se.

Para o surgimento destes novos equilíbrios, o mecanismo central é a perspectiva de ganhos futuros associados a um estado de cooperação. Se eu desviar da cooperação hoje, sei que meu oponente também o fará, me recolocando em um estado pior para as rodadas futuras.

Um exemplo típico é a formação de oligopólios: suponha que duas empresas disputem mercados, em que aquela que tiver o preço mais barato toma a maior parcela. Em uma única rodada, ambas tentariam colocar o preço mais baixo possível, sacrificando sua margem de lucro para conquistar mais mercados. Contudo, sabemos que a definição de preços em um mercado pode ser considerado um jogo de infinitas rodadas. Nesse caso, elas podem gradativamente elevar os preços para um estado em que ambas exploram margens maiores, atingindo assim um equilíbrio cooperativo. O mecanismo que sustenta esse equilíbrio é intertemporal: ainda que haja incentivo para se reduzir o preço em uma rodada e conquistar mais mercados, ambas as empresas sabem que ao fazer isso disparam uma guerra de preços que prejudicará os lucros de ambas. Temos, portanto, a repetição das rodadas alterando os resultados do equilíbrio.
Já os jogos em que cada jogador joga em uma rodada, o grande diferencial é a vantagem de se jogar primeiro. Isso ocorre, pois ao começar o jogo, o jogador sabe exatamente a situação de seu oponente, e, portanto, consegue se antever à decisão que ele tomará em cada cenário - processo conhecido por *indução reversa*.

A capacidade do primeiro jogador antecipar a estratégia do segundo muda os equilíbrios, geralmente em favor do primeiro. Vejamos um exemplo clássico, obtido de Tadelis (2013), conhecido por Batalha dos Sexos.

Suponha que um casal deve escolher onde irá sábado a noite. Para Alex, o ideal seria ir com a Chris para o futebol, enquanto que para Chris o ideal seria ir com o Alex para a Ópera. Para ambos, contudo, a possibilidade de ir sozinho é a pior possível - pior até mesmo do que ir com no programa de interesse do parceiro. A tabela de payoffs a seguir resume essa situação.

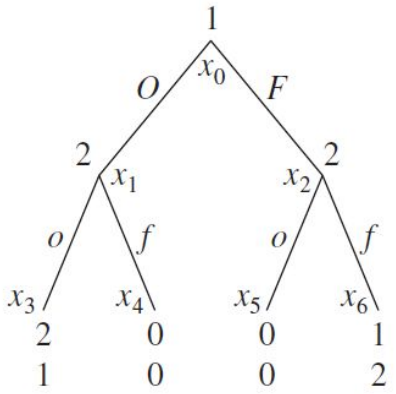
Figura 10 - Matriz de Payoffs da Batalha dos Sexos

		Chris	
		O	*F*
Alex	*O*	2, 1	0, 0
	F	0, 0	1, 2

Fonte: Tadelis (2013), p.62

No jogo de rodadas simultâneas, temos dois Equilíbrios de Nash possíveis: Ópera-Ópera, ou Futebol - Futebol. Contudo, suponhamos agora que Alex tenha a vantagem de ser o primeiro a jogar. Nesse caso, temos apenas um equilíbrio: Futebol - Futebol. Isso ocorre, pois, sendo o primeiro a jogar, ele sabe que se escolher futebol, Chris necessariamente escolherá Futebol, pois para ela ir para a ópera sozinha é pior do que ir com ele para o futebol. A possibilidade de Chris ir para a ópera é o que chamamos de *ameaça não crível*. Dessa forma, pelo processo de indução reversa, Alex utiliza sua vantagem como primeiro jogador e escolhe futebol. Essa situação por rodadas costuma ser representada em árvores, que chamamos de jogo na forma extensiva:

Figura 11 - Batalha dos Sexos na forma extensiva



Fonte: Tadelis (2010), p.133

Jogos Evolucionários

Os jogos evolucionários constituem uma modalidade específica, caracterizada pela aproximação com os mecanismos de seleção e sobrevivência do mais apto da teoria da evolução de Darwin. O grande diferencial da noção dos jogos evolucionários é que, diferentemente da abordagem usual, eles não exigem dos jogadores que tomem decisões explícitas. Com isso, suposições fortes como racionalidade e common *knowledge* podem ser relaxadas, já que as estratégias adotadas pelos jogadores são geneticamente determinadas.

O insight central na abordagem por jogos evolucionários é que muitos dos comportamentos compreendem a interação de múltiplos organismos em uma população, e o sucesso de quaisquer destes organismos depende de suas características interagindo com as dos demais. Nesse sentido, suas características genéticas e comportamentos são como estratégias em um jogo, e sua aptidão para sobreviver será o seu payoff - o qual, por sua vez, depende das características dos organismos com os quais interage.

Como resultado, a ideia de equilíbrio de Nash é substituída por estratégias que operam ao longo de longos períodos de tempo, tomando a forma mudanças na composição da população sob forças evolucionárias. Chamamos esta de uma estratégia evolucionariamente estável. Estratégias evolucionariamente estáveis são estratégias que tendem a persistir na população. Vejamos um exemplo apresentado por Easley e Kleinberg (2010).

Considere uma espécie de besouro, e que seu grau de adaptação depende da capacidade de conseguir alimentos e usar os nutrientes com eficiência. Suponha uma mutação que introduza agora besouros maiores, os quais, apesar de serem mais aptos a conseguir alimentos, possuem menor eficiência metabólica devido ao tamanho de seus corpos. Com isso, na competição por alimentos os besouros podem observar três resultados:

1. Se besouros do mesmo tamanho competem, cada um fica com a mesma parcela de alimento;

2. Quando um besouro grande compete com um pequeno, o grande fica com a maior parte do alimento;
3. Uma mesma quantidade de alimento gera payoff menor para o besouro grande, já que sua eficiência metabólica é reduzida.

A seguinte matriz de payoffs resume esta situação, atribuindo valores a cada resultado.

Figura 12 - Matriz de Payoffs de um jogo evolucionário

		Beetle 2	
		Small	*Large*
Beetle 1	*Small*	$5, 5$	$1, 8$
	Large	$8, 1$	$3, 3$

Fonte: Easley e Kleinberg (2010), p.211

Pelo mesmo método de eliminação iterada que empregamos para obter equilíbrios de Nash, podemos ver que a estratégia de ser grande é sempre preferível à ser pequeno - ainda que, em termos de eficiência energética, ser grande não gere um resultado geral melhor. A diferença fundamental, aqui, é que não dependemos dos conceitos de crença, *common knowledge* e melhor resposta, já que as estratégias não são fruto de decisões pelos besouros. Elas são, sim, resultantes de características de nascença nas espécies, e que se perpetuam conforme as diferentes gerações interagem. Nesse caso, Grande é uma característica evolucionariamente estável, uma vez que se perpetua na população ao interagir com besouros menores.

As ideias de jogos evolucionários são especialmente importantes para modelos de redes, já que muitas redes funcionam a partir da lógica de ‘sobrevivência do mais apto’. Um exemplo que iremos explorar a fundo no capítulo 5 diz respeito à transições tecnológicas, em que a difusão de uma nova tecnologia a faz interagir com tecnologias anteriores que representam um estágio menos avançado de desenvolvimento. Com isso, a cada nova interação a tecnologia mais apta

sobrevive, levando a um processo de difusão e substituição. Outro exemplo de aplicação são redes de aprendizado, em que a cada novo estágio o jogador muda sua estratégia como resultado da interação anterior. Nesses casos, conhecidos como *reinforcement learning game theory*, os resultados de suas ações alteram as crenças e expectativas sobre os outros jogadores a cada rodada.

4. MODELOS DE REDES NO CONTEXTO DA PESQUISA EM COMUNICAÇÃO

A pesquisa em comunicação já conta com um histórico de investigação dos fenômenos de redes. No brasil, pesquisadores como Raquel Recuero e Fábio Malini figuram entre os principais no uso de dados de redes sociais para a análise de fenômenos da esfera pública.

A seguir, delineamos alguns modelos formais que despontam pelo seu elevado potencial de aplicação nas pesquisas do campo. Nesse sentido, a apresentação destes modelos ocorre em três níveis.

No primeiro, podemos focar nos resultados teóricos. Quais são as previsões do modelo? Por que alguns perfis são mais populares que outros? Qual é a importância dos hubs para a disseminação de ideias? Como se forma uma cascata de informações, e qual a importância disso para a disseminação de ideias e inovações?

É o nível mais superficial de compreensão, mas já extremamente útil para a análise de alguns fenômenos. Com estes resultados em mãos, temos uma justificação teórica para a formação de movimentos e a disseminação de conteúdos.

Em um segundo nível, trata-se de compreender os mecanismos operando no modelo para chegar aos resultados. São tanto mecanismos comportamentais (que explicam o processo de formação da rede), quanto características topológicas que resultam em princípios gerais do comportamento coletivo.

A compreensão destes mecanismos teóricos deve ser o foco, já que a escolha sobre qual modelo é o mais adequado na análise passa por eles. Diante de um fenômeno com claro componente de redes, o modelo mais adequado será aquele em que os pressupostos teóricos forem condizentes com o fenômeno observado. Que tipo de rede é aquela? Como foi seu processo de formação? Como se distribuem os links? A imitação de comportamentos gera alguma vantagem para os membros da rede? Responder a estas questões significa identificar qual o mecanismo que está operando e, portanto, qual modelo é o mais adequado para sua análise.

O nível mais sofisticado de entendimento do modelo é o formal, a partir das equações que definem hipóteses e resultados teóricos. Ainda que com a intuição dos mecanismos o pesquisador já esteja munido para a pesquisa, a compreensão matemática do modelo ajudará a para definir estes mecanismos de forma mais precisa. Na derivação matemática, fica evidente como alguns poucos pressupostos teóricos geram os resultados do modelo.

Independentemente do nível de apreensão, é fundamental que a exposição cumpra o papel central deste trabalho: instrumentalizar o pesquisador de comunicação com modelos aplicáveis nas pesquisas sobre os fenômenos em rede. Para isso, o capítulo está dividido em três partes.

Na primeira apresentamos os modelos de redes sem escala, elaborados nos artigos canônicos de Barabási e Albert (1999) e Barabási e Bianconi (2001). São modelos que explicam a formação de redes caracterizadas pela presença de hubs e por diferenças de popularidade entre os nós - isto é, existe uma variância muito grande entre o número de links dos nós dessa rede.

Na segunda parte, são apresentados modelos de difusão em três frentes: cascatas de informação (que explicam comportamentos de manada), externalidades de redes (que explica adoção de inovações) e redes heterogêneas (que adiciona características topológicas para compreender os processos de difusão).

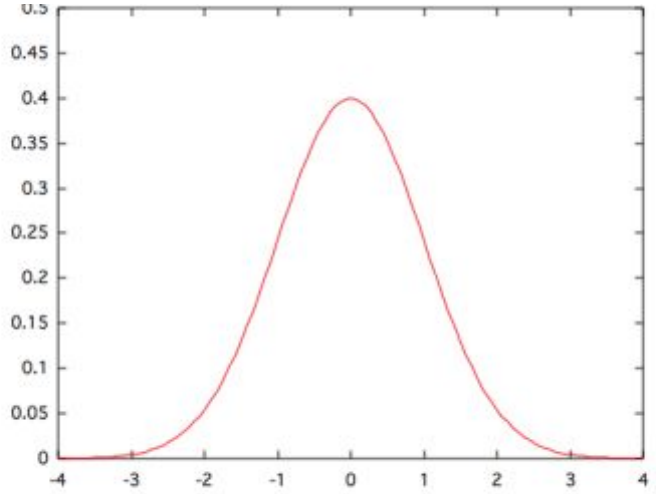
Por fim, na parte final do capítulo são apresentadas aplicações destes modelos no contexto de pesquisa de ciências da comunicação. Estas aplicações vem tanto de pesquisadores que já fazem algum tipo de emprego dos modelos a temas de pesquisa da área, quanto de pesquisas que possuem o potencial de usar os modelos devido à natureza de seus objetos.

4.1 Modelos de redes sem escala: Barabási-Albert, e Bianconi-Barabasi

O modelo de Barabási e Albert (1999), apesar de sua simplicidade, foi um avanço importante no estudo de redes por descrever as chamadas Redes sem escala. Sua grande inovação foi caracterizar tanto a topologia de boa parte das redes que conhecemos, como também seu processo de formação.

Quando pensamos nos modelos de mundos pequenos e grafos aleatórios, uma premissa importante parece pouco crível. Em ambos, o número de links por nó é distribuído de forma randômica, de modo que, na média, as diferenças de grau entre os nós seja muito baixa. Como na maioria dos eventos aleatórios, a expectativa é de que os graus dos nós se distribuam em uma curva normal.

Figura 12 - Distribuição dos graus esperada para redes aleatórias: Curva normal



Fonte: Barabási, 2016

Contudo, a observação empírica nos mostra que nas redes reais a distribuição dos graus por nó passa muito longe da distribuição normal, e isso ocorre devido à existência dos chamados *Hubs.* Os *Hubs* são a principal diferença das redes sem escala em relação aos grafos aleatórios. Eles são típicos de redes como a internet, em que uma parcela diminuta dos sites como o google e o facebook concentram a maioria absoluta dos links, enquanto que a grande da maioria das páginas possuem quantidade quase insignificante de links. A maioria das redes que conhecemos são

caracterizadas pela existência de algum tipo de hub. Dos filmes lançados no cinema, alguns poucos arrecadam bilhões de dólares na bilheteria, enquanto a grande maioria não passa dos milhares. Nos círculos sociais, enquanto que a maioria das pessoas é conhecida apenas por aqueles com quem se relacionam diretamente, alguns alcançam maior visibilidade, e pouquíssimos chegam à popularidade em nível global. Esse tipo de característica acaba por resultar em redes com topologias bastante similares.

4.1.1 A topologia das redes sem escala: leis de potência

Prosseguindo com o modelo de Barabási e Albert, notamos que redes caracterizadas pela existência de *hubs* possuem um formato comum entre elas. Trata-se do formato das leis de potência, que resulta por sua vez da função distribuição de probabilidades do grau dos nós. A função específica que caracteriza essa distribuição é a chamada exponencial, cuja forma funcional é dada por:

$$P_k \sim K^{-\gamma}$$

Donde temos $P_k = C.K^{-\gamma}$, em que P_k é a probabilidade de que o nó *i* tenha grau *k* (k links), C é uma constante de normalização, e γ é o grau do expoente. Tipicamente, em redes sem escala este expoente é 2. Isto quer dizer que em uma rede típica, a probabilidade de que um nó aleatório tenha, por exemplo, 3 links é:

$$P_3 = 3^{-2} \Rightarrow P_3 = 1/(3^{-2}) = 1/9, \; assumindo\; C = 1$$

Por outro lado, se aumentarmos para 1000 links, esse valor cai para:

$$P_{1000} = 1000 \Rightarrow P_3 = 1/(1000^{-2}) = 1/1.000.000, \; assumindo\; C = 1$$

Ou seja, conforme cresce o número de links, a probabilidade de que um dado nó tenha essa quantidade cai segundo uma lei de potência. Para calcular a

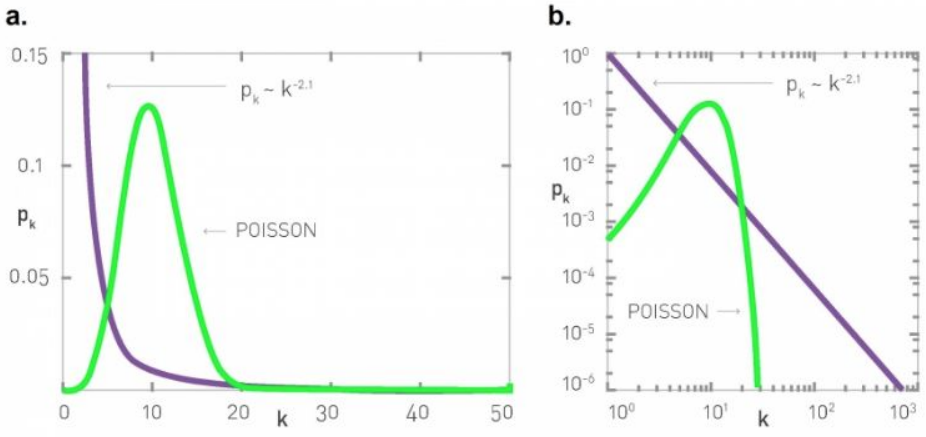
probabilidade associada a um dado intervalo, devemos calcular a área sob o gráfico da função distribuição de probabilidade dos graus por nó. O fazemos tanto para o caso discreto quanto para o caso contínuo:

$$P(K > 1000) = \int_{1000}^{\infty} C.K^{-2} dk \quad \textit{(caso contínuo)}$$

$$P(K > 1000) = \sum_{i=1000}^{\infty} C.K^{-2} \quad \textit{(caso discreto)}$$

Em ambos, temos o cálculo da probabilidade de que nós aleatoriamente selecionados tenham mais do que mil link em uma rede de expoente 2.

Figura 13 - Curvas de distribuição dos graus por nó: Normal (~Poisson) e Exponencial



Fonte: Barabási, 2016

As curvas que descrevem a distribuição exponencial formam leis de potência, como no gráfico acima. Nessas curvas, uma parcela muito restrita dos nós concentra a parte mais expressiva dos links daquela rede, enquanto que todos os demais ficam com apenas alguns poucos links (*k* baixo). A internet é um exemplo típico, caracterizado pela topologia em lei de potência devido à presença de Hubs.

A questão importante a ser respondida agora é: por que tantas em redes conhecidas notamos a presença de hubs? Para responder a isso, Barabási e Albert

(1999) vão além da estrutura topológica e investigam o processo de formação daquela rede.

4.1.2 A formação das redes sem escala: conexão preferencial

A premissa que relaxamos do modelo de grafos aleatórios para compreender as redes sem escala é de que o grau dos nós se distribui aleatoriamente. Agora, para caracterizar o processo de formação dos hubs o primeiro passo é relaxar a suposição de que a quantidade de nós em uma rede é constante. Passamos, assim, do mundo estático para o mundo das redes dinâmicas.

Na maior parte das redes observáveis, o número de nós tende a crescer. Diariamente, novas páginas são criadas na rede, novas amizades se formam, um aplicativo adquire downloads, quartos são colocados no Airbnb. São raras as redes em que a quantidade de nós é totalmente estática.

Para representar esse crescimento, vamos assumir que o número de nós cresça a uma taxa constante em função do tempo *t*. Expressamos essa função por:

$$N = t + m_0$$

Desse modo, quanto mais o tempo passa desde o início da rede, maior a quantidade de nós existentes. Supondo que a cada novo nó surjam *m* novos links, teremos que a quantidade de links (L) é descrita pela seguinte função:

$$L = mt + m_0$$

A unidade do tempo t dependerá da natureza da rede em análise. Enquanto que os acessos a um site podem crescer em função de horas, a rede das espécies em um ecossistema cresce ao longo de milênios.

Sabendo-se que o número de nós em uma rede crescem como função do tempo, precisamos ainda explicar por que alguns desses nós se tornam hubs, enquanto que a maioria deles permanece pouco conectada. Para isso, o mecanismo comportamental proposto por Barabási e Albert (1999) é a *conexão preferencial*.

Intuitivamente, o mecanismo da conexão preferencial é análogo à noção geral de popularidade. Popularidade é um fenômeno caracterizado por desequilíbrios extremos: conforme se tornam mais populares, as pessoas passam a atrair mais a atenção dos demais, retroalimentando sua popularidade e formando um hub. O mesmo ocorre para livros, filmes, artigos científicos e tantos outros objetos orientados a audiência (EASLEY, KLEINBERG, 2010).

Formalmente, conexão preferencial é um mecanismo probabilístico pelo qual a probabilidade de um nó receber um link é diretamente proporcional ao grau desse nó (isto é, ao número de links já conectados a ele). Seja $\Pi(K_i)$ a probabilidade de que, diante do surgimento de um novo nó, ele estabeleça um link com o nó i já existente, e teremos:

$$\Pi(k_i) = k_i \; / \sum_{j=1}^{N-1} k_j$$

Donde vemos que a probabilidade de um novo link é diretamente proporcional ao grau daquele nó. Um nó com k=4 tem o dobro de chances de receber o link se comparado a um nó com k=2. Como a quantidade de links também aumenta com o tempo (conforme a equação anterior), teremos então que:

$$\Pi(k_i) = k_i \; / (\sum_{j=1}^{N-1} k_j) = k_i \; / (2mt - m)$$

Sabendo-se que a variação do grau de um nó ao longo do tempo ($\partial k_i / \partial t$) é dada basicamente por *m* (quantidade de links novos por unidade de tempo) multiplicado pela probabilidade de que o novo link caia no nó *i*, e temos que:

$$\partial k_i/\partial t = m.\Pi(k_i) = m.(k_i / 2mt - m) = k_i / 2t - 1$$

Como podemos obter $k_i(t)$ integrando sua derivada, temos:

$$k_i(t) = \int(\partial k_i/\partial t)dt = m.\Pi(k_i) = \int(k_i / 2t - 1)dt = m.(t_i/t)^{\beta}$$

Donde β é o expoente dinâmico, que determina a inclinação da curva de crescimento do grau de um nó como função do tempo t. O ponto fundamental deste resultado teórico é que, a partir do mecanismo probabilístico de conexão preferencial, o grau de um nó é função direta do quão antigo ele é. Um nó mais antigo irá acumular mais links e, com isso, tende a atrair mais novos links dos nós que surgem na rede. É assim que ocorrem a formação dos hubs.

4.1.3 Interpretação das redes sem escala: ricos ficam mais ricos

A ideia central do modelo de Barabási e Albert (1999) é propor um mecanismo de formação que resulte em redes altamente concentradas em hubs, e cujo grau dos nós seja distribuído na forma de leis de potências. A ideia da conexão preferencial, que dá aos nós mais antigos uma probabilidade maior de atrair novos links (vantagem do primeiro jogador, obtida dos jogos dinâmicos) unida à natureza dinâmica nos garante essa topologia e é capaz de explicar grande parte das redes existentes.

O resultado central ficou conhecido por ricos ficam mais ricos uma vez que, nesse modelo, invariavelmente os nós que já possuem mais links serão aqueles a receber a maior quantidade de novas conexões, se tornando hubs ainda mais poderosos. A analogia se encaixa bem, já que é comum que os mais ricos atraiam as melhores propostas de investimentos e, com isso, sejam aqueles que mais aumentam sua riqueza em uma economia de mercado.

Contudo, entre diversas limitações do modelo, a incapacidade de explicar novos nós que se tornam hubs é a mais grave. Na web, por exemplo, não faltam exemplos de páginas que surgem e logo se tornam mais populares do que outras já existentes -

basta pensar que o Google foi fundado três anos depois do Yahoo, apesar de deter muito mais links. Em grupos sociais não é raro observar o efeito *new kid on the block*, pelo qual o recém chegado atrai as atenções e rapidamente se torna o hub. Mesmo no ambiente de mercado, a capacidade de inovar das empresas as colocam como centro de suas redes em pouco tempo. O Airbnb hoje já conta com uma rede de quartos para locação superior a qualquer outra plataforma que tenha surgido antes dele.

Exemplos como estes contrariam o principal resultado do modelo de Barabási e Albert. A inserção do componente aptidão traz sofisticação ao modelo, preservando sua topologia sem escala e, ao mesmo tempo, permitindo a existências de entrantes que se tornam hubs.

4.1.4 Bianconi e Albert: Modelo sem escala com aptidão

A aptidão é um componente intrínseco de alguns nós, típico de redes em que os agentes apresentam comportamento competitivo. É a capacidade de uma pessoa transformar encontros em relações longevas, ou de produtos virarem grandes fenômenos de vendas. Enquanto alguns sites ficam por anos amargando poucos links, outras viralizam e se tornam fenômenos de popularidade. O que o modelo de Bianconi e Albert (2001) chama de aptidão (*fitness* no original) é uma propriedade intrínseca que diferencia os nós, fazendo com que alguns tenham mais facilidade em formar novos links do que os anteriores.

O desafio do modelo é avaliar as consequências da aptidão para a topologia das redes, ponderando se o formato sem escalas é preservado. Matematicamente, a aptidão passa a ser um componente η que vai determinar a probabilidade de receber novos links. Nesse sentido, a conexão preferencial passa a ser uma função tanto do grau k, quanto da aptidão η. Seja Π_i a probabilidade do nó i:

$$\Pi(k_i) = \eta_i k_i \; / \sum_{j=1}^{N-1} k_j \eta_j$$

A dinâmica de crescimento do número de nós (N) e links (L) como função do tempo permanece a mesma:

$$N = t + m_0$$
$$L = mt + m_0$$

Deduzindo o modelo de forma análoga ao mostrado em Barabási e Albert (1999), chegamos finalmente a função do grau dos nós tendo tempo e aptidão como variáveis do modelo:

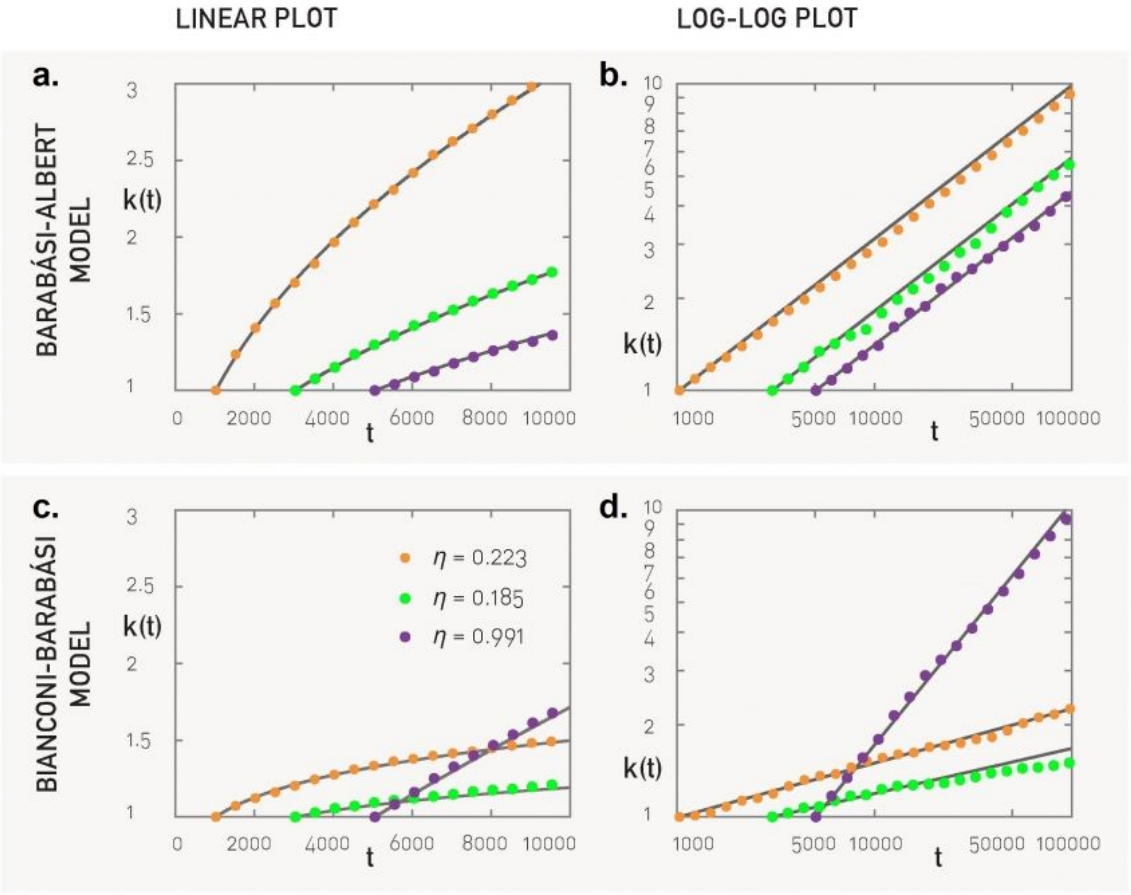
$$\Pi(k_i) = \eta_i k_i / (\sum_{j=1}^{N-1} \eta_j k_j) = \eta_i k_i / (2mt - m) \Rightarrow$$
$$\partial k_i/\partial t = m.\Pi(k_i) = m.(\eta_i k_i / 2mt - m) = \eta_i k_i / 2t - 1 \Rightarrow$$
$$k_i(t) = \int(\partial k_i/\partial t)dt = \int(\eta_i k_i / 2t - 1)dt \Rightarrow$$
$$k_i(t, t_i, \eta_i) = m.(t_i/t)^{\beta(\eta_i)}$$

Em que a diferença para o modelo anterior é que a aptidão passa a ser determinante para o expoente β - o qual, por sua vez, define a inclinação da distribuição dos graus entre os nós. O grau k_i do nó i passa a ser determinado pelo tempo de existência do nó (t_i) versus o tempo de existência da rede (t), e pela aptidão daquele nó para fazer novos links (η_i).

A grande vantagem desse modelo é que, a depender da aptidão dos nós, é possível obter redes em que os nós mais novos recebem mais links do que nós mais antigos.

Curvas de crescimento dos números de nós vs. tempo nos modelos Barabási-Albert e Bianconi-Barabási

Figura 15 - Evolução no número de links por nó como função do tempo nos modelos sem escala de Barabási e Albert, e Bianconi Barabási



Fonte: Barabási, 2016

A topologia resultante dependerá do valor da aptidão. Para casos em que o valor é mais próximo de zero, o grau de diferenciação entre os nós é muito baixa, e a rede segue a topologia sem escala usual. Conforme aumenta e se aproxima de um, a rede se torna disforme até adotar o formato de estrela, que caracteriza redes *winner takes it all*, em que existe um grande hub ao redor do qual os nós se organizam.

4.2 Modelos de difusão: cascatas e externalidade de redes

Os modelos sem escala são um bom framework para entendermos a estrutura e formação de redes caracterizadas pela extrema popularidade de alguns nós. Os modelos de difusão, por sua vez, nos explicam por que em algumas redes os indivíduos tendem a se comportar coletivamente de forma similar, dando origem a processos sociais em que o comportamento individual é replicado a nível populacional.

Por que alguns candidatos conquistam populações e se tornam fenômenos de popularidade? Como aglomerados dispersos se convertem movimentos ideologicamente coesos, levando pessoas às ruas eventualmente até arriscando o próprio bem estar em prol do grupo? O que leva alguns aplicativos como Uber e Airbnb a se tornarem grandes fenômenos, enquanto outros tantos são adotados apenas por uma parcela ínfima dos usuários?

Modelos de difusão nos ajudam a responder questões como estas, destacando a importância da estrutura topológica dos grupos para o sucesso de uma ideia ou produto ao longo da população. Para começar a responder esta questão, o primeiro passo é entender por que, sob certas circunstâncias, a ação de um indivíduo leva os demais a replicarem aquele comportamento, mesmo quando sua informação individual vai em outra direção. Veremos que, ao contrário do que a intuição sugere, o comportamento de manada pode ser uma resposta inteiramente racional aos comportamentos dos demais.

São dois os mecanismos centrais que explicam a replicação coletiva de comportamentos. Primeiro, um efeito indireto: o comportamento dos demais carrega informação. Ao processar a informação dos demais, pode ser mais inteligente para as decisões individuais seguir aquela informação do que utilizar as próprias. Esse tipo de efeito indireto chama-se *efeito cascata*. O segundo mecanismo é benefício direto da replicação. Isto é, torna-se individualmente mais vantajoso adotar um

comportamento se outros também o fizerem. Trata-se da chamada *externalidade de redes*. Procedemos agora à formalização de ambos.

4.2.1 Benefícios Indiretos: efeito cascata

O modelo seminal de comportamento de manada foi desenvolvido por Banarjee no artigo *A simple model of herd behavior* (1992), e aprimorado na sequência por Welch (1992). Comportamentos de manada ocorrem por um efeito chamado de cascatas de informação, que aparece quando os indivíduos passam a replicar o comportamento dos demais devido à informação que eles observam. O que o modelo demonstra é que a mimetização de comportamentos pode ser fruto de uma decisão inteiramente racional, na qual o indivíduo busca seu melhor benefício (o equivalente ao *payoff* da teoria dos jogos).

Easley e Kleinberg (2010) colocam para a formação de uma cascata de informação são necessários quatro componentes iniciais:

1. Uma decisão a ser tomada, como por exemplo adotar ou não uma nova tecnologia, usar um novo estilo de roupa, comer em um restaurante ou apoiar um dado partido político.
2. Situações em que as pessoas tomam decisões sequencialmente, em que cada pessoa pode observar as escolhas daqueles que agiram antes.
3. Além da observação, cada indivíduo possui uma informação própria que orienta também a decisão.
4. Os indivíduos não observam a informação privada que orienta a decisão dos demais, mas eles podem fazer inferências com base nos comportamentos que eles adotam.

O componente quatro é o mais interessante (e perigoso) para a formação de comportamentos de manada. Como os indivíduos não observam a informação dos demais, eles se baseiam apenas nos comportamentos. Isso pode iniciar uma reação em cadeia na qual cada indivíduo ignora a própria informação e passa a replicar um

padrão de comportamentos que não necessariamente reproduz a totalidade das informações.

Imagine que, ao chegar em uma cidade nova, um indivíduo deva escolher entre dois restaurantes - A ou B - e que sua informação privada é de que o restaurante B é melhor. Contudo, ao observar os dois, nota que o restaurante A está muito mais cheio do que o B. Como sua informação pessoal não é perfeita, a informação inferida da escolha dos demais é mais forte que a sua própria, levando o indivíduo a optar pelo restaurante A. Temos aí a semente para a formação de uma cascata.

Mas como expressar isso esse mecanismo em termos formais? Para isso Easley e Kleinberg (2010) elaboram uma situação ilustrativa: suponha uma sala de aula com uma caixa no meio, dentro da qual estão presentes três bolas. Contudo, com 50% de chances duas bolas são azuis e uma bola é vermelha (caixa A), e com 50% de chances duas bolas são vermelhas e uma é azul (caixa B). Em seguida, suponha que sequencialmente os alunos devem ir à caixa, tirar uma bola para observar sua cor, e dar um palpite sobre qual das caixas se trata. Enquanto que a informação da cor observada é privada, o palpite é público para os demais.

Intuitivamente, sabemos que o primeiro da fila irá observar e dar o palpite com base na cor observada. Suponha que seja azul. O segundo, por sua vez, se observar azul irá repetir o palpite, e se observar Vermelho vai estar indiferente (os dois possuem a mesma probabilidade de ocorrer). Supondo que o segundo tenha dado o palpite azul também, o terceiro da fila irá palpitar azul independentemente da cor que observar. Isto porque, sabendo que as outras duas observações foram baseadas na efetiva observação, mesmo observando vermelho a probabilidade de que a caixa seja a A permanece maior do que de que seja a B. O mesmo processo ocorre para todos os seguintes da fila, que vão palpitar A independentemente da observação. Está formada a cascada de informação.

Contudo, suponha que a caixa seja a B. Então, a probabilidade de que a primeira e a segunda observação sejam azuis é de ⅓ . ⅓ = 1/9. Isto é, com probabilidade 1/9

todos os alunos da sala podem estar afirmando equivocadamente que a caixa é a A enquanto, de fato, trata-se da B. Reside aí o perigo das cascatas de informação.

Para formalizar matematicamente o problema, é necessário recorrer ao teorema da probabilidade condicional, usualmente referido por *Teorema de Bayes*. Este teorema mostra como uma nova informação altera a probabilidade de ocorrência de um evento. Ele é expresso por:

$$P(X|Y) = P(X \cap Y)/P(Y) \; = \; P(X).\, P(Y|X)/P(Y)$$

Sem entrar na dedução do resultado, temos que a probabilidade de X condicional à ocorrência de Y, $P(X|Y)$, é dada pela probabilidade de que X e Y ocorram ao mesmo tempo, $P(X \cap Y)$, dividido pela probabilidade total de que Y ocorra, $P(Y)$. A probabilidade $P(X \cap Y)$, por sua vez, é dada pela probabilidade total de X ocorrer multiplicada pela probabilidade condicional de que Y ocorra dado X, $P(X).\, P(Y|X)$.

Para formalizar o exemplo anterior, vamos definir como P(A) e P(B), respectivamente, a probabilidade de que a caixa seja a predominantemente azul e a probabilidade de que a caixa seja predominantemente vermelha. O conjunto de observações será expresso por a ou v. Isto é, se foram observadas duas bolas azuis, o terceiro respondente irá dar seu palpite com base na probabilidade de que seja majoritariamente Azul dados os resultados anteriores, expresso por: $P(A\,|a,\; a).$ Se a probabilidade resultante for maior que ½ seu palpite é A, caso contrário seu palpite é B.

Vejamos então a sequência de palpites:

O primeiro, ao observar uma bola azul, irá computar $P(A|a)$, probabilidade de caixa azul dada observação de uma bola azul. Esse cálculo resulta em:

$$P(A|a) = P(A).\, P(a|A)/P(a)$$

A probabilidade de que a caixa seja a A é, como dito, ½. Já a probabilidade de que a bola seja azul dado que é a caixa A é de ⅔ (pois são 3 bolas, das quais 2 azuis). Por fim, a probabilidade total de que uma bola tirada aleatoriamente seja azul é ½.⅔ + ½.⅓ = ½. Dessa forma, ficamos com: $P(A|a) = (1/2 * 2/3)/(1/2) = 2/3$. Como o valor resultante é superior do que ½, o primeiro observador palpita A.

Este resultado faz todo sentido: pensando que a caixa tem 50% de chances de ser A e 50% de ser a B, ao retirar aleatoriamente uma bola e ver que a bola é azul, a probabilidade de que aquela seja a caixa predominantemente azul (A) aumenta.

Para o segundo jogador, como seu palpite é também baseado na observação, a probabilidade resultante é análoga. Suponhamos que ele observa uma bola azul, e palpite que aquela seja a caixa A.

A cascata passa a se formar no terceiro aluno: suponha que ele observe uma bola vermelha. Seu palpite ocorrerá com base no cálculo da seguinte probabilidade: $P(A|a,a)$, isto é a probabilidade de que aquela seja a caixa A dados dois palpites seguidos de bolas azuis. Este cálculo é dado por:

$$P(A|a,a,v) = P(A).\ P(a,a,v|A)/P(a,a,v)$$

$P(A)$ permanece valendo ½, enquanto que $P(a,a,v|A)$ é a probabilidade de se tirar sucessivamente duas bolas azuis e uma vermelha dado que é a caixa A, calculado por ⅔.⅔.⅓ =4/27. Por fim, a probabilidade total de se tirar sucessivamente duas bolas azuis, é $P(a,a) = 1/2.2/3.2/3.1/3 + 1/2.1/3.1/3.2/3 = 2/27 + 1/27 = 1/9$. Finalmente, o resultado final erá: $P(A|a,a,v) = (1/2.4/27)/(1/9)$ = ⅔. Isto é, dada a observação a,a,v dos sucessivos palpites, a probabilidade de que aquela seja a caixa A é ⅔. Como é maior do que ½, o palpite do terceiro aluno (e necessariamente de todos os seguintes) é de que trata-se da caixa predominante

azul. Isso ocorre independentemente das observações dos seguintes, bem como do número total de alunos naquela sala.

O modelo dá uma demonstração de como mesmo o uso da racionalidade para as decisões é capaz de levar a comportamentos mimetizados e, eventualmente, erros coletivos. No caso do terceiro aluno a palpitar, sabemos que existe chance ⅓ de aquela ser a caixa predominantemente vermelha (B). Isto é, ⅓ de que todos os respondentes seguintes sigam pelo palpite errado.

Transcendendo ao exemplo das caixas em direção a um modelo geral, definimos os seguintes elementos base para um cálculo genérico do efeito cascata:

1. Dois possíveis estados: a decisão é uma boa ideia (B) ou uma má ideia (M). A probabilidade de ser boa é p e de ser má é 1-p.
2. Payoffs das decisões: se decidir e o estado for B, payoff será $v_b > 0$. Se decidir e o estado for M, payoff será $v_m < 0$. Se não decidir payoff é zero.
3. Sinais: pode indicar que o estado é B (sinal H) ou pode indicar que o estado é M (sinal L). Por construção teremos:

   Probabilidade de que o estado seja B dado sinal H = $P(B|H)$ = q > ½
   Probabilidade de que o estado seja M dado sinal H = $P(M|H)$ = 1 - q < ½
   Probabilidade de que o estado seja B dado sinal L = $P(B|L)$ = 1 - q < ½
   Probabilidade de que o estado seja M dado sinal L = $P(A|L)$ = q > ½

Assim, as decisões individuais passam a ser tais que $P(B|H) > 1/2$, realiza a decisão; caso contrário, não. Portanto:

$$P(B|H) = P(B \cap H)/P(H) = P(X).P(Y|X)/P(Y) = p.q / [p.q + (1-p).(1-q)$$

Valor que é necessariamente maior do que *p* (omitiremos a demonstração). Ou seja: como p é a probabilidade incondicionada de que ocorra o estado desejável (B), um

sinal H indica que a probabilidade de que esse estado seja o real é maior do que p. O *payoff* esperado, por sua vez, é dado por:

Payoff esperado = $P(B|H) \,.\, v_m + P(M|H) \,.\, v_m$

Mas como saber quando se inicia uma cascata? Defina S uma sequência de sinais independentes, em que *a* é o número de sinais H e *b* é o número de sinais L, sendo a + b = S. Então, sabemos que necessariamente:

1. $P(B|S) > P(B)\ se\ a > b$
2. $P(B|S) < P(B)\ se\ a < b$
3. $P(B|S) = P(B)\ se\ a\ = b$

Que significa apenas que indivíduos aceitarão a decisão se receberem mais sinais positivos do que negativos, e não aceitarão caso contrário. Em outras palavras, nesse modelo simplificado os indivíduos decidem conforme a maior parte dos sinais que observarem. Para o início da cascata, é necessário que a diferença entre o número de sinais positivos e negativos seja no mínimo dois, já que a partir desse momento a probabilidade condicional de se decidir conforme a maioria será necessariamente maior do que 50%, independentemente do que for observado.

Aprendizados centrais de cascatas

A conclusão geral do modelo é que, quando as pessoas conseguem ver o que os outros fazem mas não o que sabem, existe um período inicial em que cada um confia em sua própria informação. Mas conforme passa o tempo, a população pode mudar para uma situação em que ignoram a informação privada e optam racionalmente por seguir a multidão. Nesse sentido, Easley e Kleinberg (2010) apresentam três resultados importantes sobre cascatas:

1. Cacatas podem estar erradas; se por azar duas pessoas recebem sinais errados em cadeia, inicia-se uma cascata que replica aquele comportamento independentemente dos sinais observados seguintes.
2. Cascatas podem começar com pouquíssima informação, já que bastam dois sinais para que se iniciem. Isso significa que existem situações em que a maior parte das informações privadas utilizadas pela população está sendo ignorada.
3. Cascatas são frágeis, já que, da mesma forma que com pouca informação podem iniciar, novas informações podem surgir e interrompê-las.

4.2.2 Benefícios Diretos: externalidades de redes

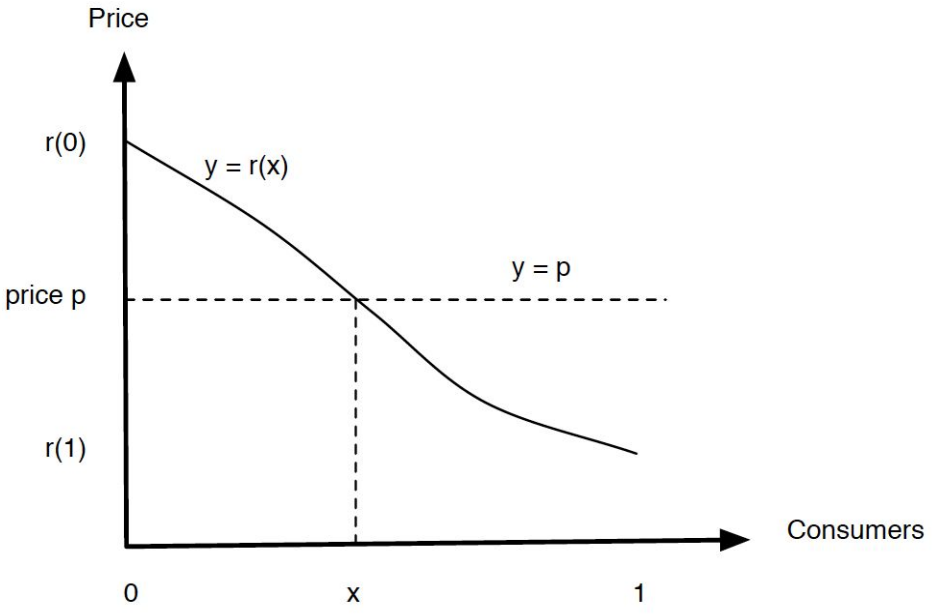
Para algumas decisões, os indivíduos recebem benefícios explícitos quando alinham seu comportamento com os resultados dos demais. Varian e Shapiro (1998) e Arthur (1990) desenvolveram uma série de modelos em que esse tipo de efeito é central. Trata-se da externalidade de redes, que caracteriza principalmente situações de adoção de novas tecnologias em que compatibilidade e interação são importantes. Basta pensar que a adoção de uma rede social se torna mais interessante conforme mais pessoas também fazem parte dela, ou mesmo a decisão de baixar aplicativos como o Uber e Airbnb, em que a qualidade do serviço está diretamente ligado à quantidade de membros naquela rede. A externalidade de redes indica o benefício adicional de um dado produto associado ao seu uso por mais pessoas.

Modelos que utilizam externalidades avaliam as consequências suas consequências na formação de redes. Para demonstrar estes efeitos, Varian (1998) começa delineando o funcionamento de um mercado em que não existe externalidade de redes. Nele, opera o modelo canônico em que a demanda de um bem é função da disposição a pagar por ele.

Representando os consumidores com um valor entre 0 e 1 (sendo 1 o total do mercado, e o valor entre eles uma parcela), o modelo canônico nos diz que um

consumidor adquire um bem se seu preço for menor ou igual à disposição a pagar. Nesse sentido, se um celular custar P*=10, e a disposição a pagar do consumidor x for 15, ele irá comprar. Para serviços gratuitos como uma rede social ou um aplicativo, podemos pensar no preço como o custo de se cadastrar, baixar e utilizar diariamente o serviço. Conforme o preço reduz, uma fração maior dos consumidores irá adquirir, já que sua disposição a pagar é maior do que o preço. Representamos a disposição a pagar pela função estritamente decrescente $r(.)$, que relaciona a parcela do mercado ao preço. Graficamente, essa relação resulta em:

Figura 16 - Disposição a pagar por um bem na ausência de externalidades de redes



Fonte: Easley e Kleinberg, 2010

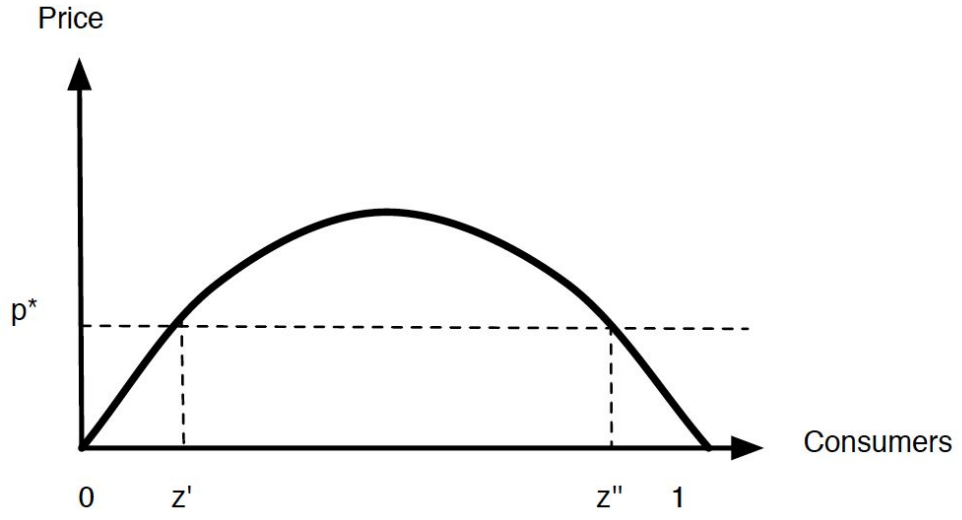
Nesse caso, para o preço $y = p$ o equilíbrio é obtido no ponto x. Isto é, para o preço p a parcela do mercado entre 0 e x, donde $r(x) = p$ mede a disposição a pagar do consumidor x.

Suponha agora que o fato de um novo consumidor adentrar o mercado eleve o benefício associado ao consumo daquele bem. Em presença de externalidades de redes, a disposição a pagar dos consumidores cresce conforme cresce a parcela do

mercado consumidor do produto. Representamos esse processo por uma função $f(.)$ estritamente crescente em x.

O que temos agora são duas funções com sinais opostos determinando a disposição a pagar dos consumidores: a função do preço (negativamente inclinada) e da externalidade de redes (positivamente inclinada). A disposição a pagar como função da parcela da população z é dada por $p = r(z).f(z)$. Graficamente o resultado é uma curva inicialmente crescente que, a partir de um ponto de saturação, se torna negativamente inclinada.

Figura 17 - Disposição a pagar por um bem na presença de externalidades de redes



Fonte: Easley e Kleinberg, 2010

Sob tais circunstâncias, o modelo passa a ter dois pontos de equilíbrio em vez de um único. Isso faz toda a diferença, uma vez que, sob um preço de equilíbrio p^*, o comportamento dinâmico dos consumidores é dúbio a depender do ponto em que está. Defina $z\ t.q\quad f(z).r(z) \neq p^*$, e temos três dinâmicas possíveis:

1. $0 < z < z' \Rightarrow f(z).r(z) < p^*$: Nessa situação, o preço de mercado p* está acima da propensão a pagar dos consumidores. Isso ocorre uma vez que ainda não existem usuários suficientes no mercado para fazer com que o consumo daquele bem tenha valor - é possível pensar em uma rede social

que ninguém acessa, ou em um serviço de aluguel de compra coletiva em que nunca se atinge a quantidade mínima de consumidores para essa compra. Nesse caso, para $z < z'$, como o preço é maior do que o que os consumidores estão dispostos a pagar, a tendência é que a demanda diminua até chegar à zero.

2. $z' < z < z'' \Rightarrow f(z).r(z) > p^*$: Nessa situação, o preço de mercado p* está abaixo da propensão a pagar dos consumidores. Isso ocorre, uma vez que a quantidade de usuários gera um benefício via externalidade de redes que eleva o valor do bem acima de seu preço. É o ponto em que um bem ou serviço de natureza coletiva torna-se extremamente popular, mas como a demanda não é tão alta seu preço ainda é baixo - o Uber em seus primeiros dias é um bom exemplo. Como a disposição a pagar é maior do que o preço praticado, a tendência é de que a parcela do mercado cresça até o ponto z''.

3. $z'' < z \Rightarrow f(z).r(z) < p^*$: Nesse último estado, a propensão a pagar volta a ficar abaixo do preço praticado p*. Isso ocorre quando o benefício marginal de novos entrantes já não é significativo, e alguns dos consumidores e a propensão a pagar dos consumidores novos é baixa. Uma rede social altamente consolidada, como o *facebook*, em que a entrada de um novo usuário já não agrega mais valor ao todo, seria um exemplo. Como a disposição a pagar está menor do que o preço praticado p*, a tendência é que o mercado diminua de volta até atingir a proporção z''.

Os dois equilíbrios deste modelo, obtidos em *f(z'').r(z'')* = *p** e em *f(z').r(z')* = *p**, possuem naturezas distintas devido à dinâmica do modelo. O ponto z' é um equilíbrio divergente, pois em suas vizinhanças a tendência é que ou o mercado tenda de volta a zero, ou à z'' - nunca convergindo à ele. É por isso que o ponto z' representa um conceito importantíssimo no estudo de redes, que Varian e Schapiro (1998) chama de massa crítica, ou ponto de inflexão.

A massa crítica de uma rede de usuários é a quantidade mínima para que o uso daquele bem ou serviço passe a gerar benefícios. Produtos com externalidades de redes que não atingem a massa crítica tendem a minguar, já que não cumprem sua função. Isso tende a ocorrer muito no mercado de mídias, por exemplo: na época em que o HD DVD e o Blu Ray ainda competiam, sem uma massa crítica de usuários com players que utilizassem o HD DVD, a mídia acabou minguando e sumiu. Por outro lado, a Sony utilizou a estratégia conhecida por *seeding* para popularizar o *Blu Ray*, distribuindo quantidades elevadas de amostras grátis. Com isso, conseguiu passar o ponto de inflexão de usuários (z'), elevando a externalidade positiva de redes do produto e colocando ele em trajetória de crescimento (rumo à z'').

O equilíbrio z'', por sua vez, é caracterizado como equilíbrio convergente. Para quaisquer valores em sua vizinhança, a tendência é de que o mercado retorne à ele. Varian (1998) classifica este como um ponto de maturidade do produto, em que o crescimento subsequente da rede deixa de motivar novos usuários já que os benefícios são muito baixos.

Aprendizados centrais de externalidades de redes

Os modelos que utilizam externalidades de redes explicam a adoção coletiva de comportamentos similares pelos benefícios diretos que essa adoção pode gerar. A partir dos trabalhos de Varian e Schapiro (1998) e Arthur (1990), vemos que estes comportamentos são comuns especialmente na adoção de inovações que dependem de compatibilidade ou interação para funcionarem bem. É o caso de redes sociais, dispositivos de comunicação e sistemas operacionais, para mencionar alguns exemplos.

O conceito de massa crítica, nesse sentido, é fundamental. Trata-se da quantidade mínima de usuários em uma dada rede para que aquele bem ou serviço gere benefícios. No modelo, é o ponto a partir do qual a propensão a pagar pelo bem ou serviço se torna maior do que seu preço devido ao benefício agregado pela

externalidade de redes. Por outro lado, no ponto de maturidade, a quantidade de usuários já é tão grande que a entrada de novos deixa de acrescentar benefícios.

Esses insights são úteis especialmente para estratégias de lançamento de inovações sujeitas à efeitos de rede. Nesses casos, é sabido que a possibilidade de começar pequeno e crescer gradualmente não é a mais provável, já que sem uma massa crítica o produto jamais irá decolar. Para ser bem sucedida, a estratégia deverá alavancar o produto para um patamar superior ao seu ponto crítico - seja através de amostras, ou convencendo líderes de opinião a usar o produto para alavancar a plataforma de usuários.

Efeitos de cascata e externalidades de rede explicam comportamentos coletivos por mimetização que, por sua vez, são base para a caracterização dos processos de difusão de idéias, produtos e serviços. A seguir, formalizamos um modelo bem definido de difusão que integra estas abordagens.

4.2.3 Integrando as abordagens: modelo de difusão de Rogers

Os modelos de difusão nos explicam como as escolhas de um indivíduo dependem dos comportamentos dos demais. Trata-se do insight base das cascatas de informação e das externalidades de rede, dinâmicas que iluminam como novas ideias e inovações são adotadas em uma população (EASLEY, KLEINBERG, 2010).

Não obstante, ambos consideram a população como um organismo social amorfo, com efeitos homogêneos no agregado da rede. Os modelos de difusão, em especial o de Rogers (1995), empregam estes mecanismos, mas constituem um passo além. Ao considerar as heterogeneidades nas redes, o comportamento individual passa a ser influenciado de maneiras distintas pelos efeitos de externalidades e cascatas. Nesse sentido, a forma como cada indivíduo leva em consideração os comportamentos passa a depender das características do grupo específico de indivíduos em que está inserido - isto é, de sua posição na rede.

Aqui, pela primeira vez, a rede deixa de ser um conjunto inteiramente homogêneo de nós. Os fenômenos passam a operar de forma localizada, com intensidades e extensões variáveis a depender das características topológicas em cada segmento da rede. As vantagens disso são muitas, em especial por tornar o modelo mais compatível com a realidade de muitas redes. Via de regra, as interações de um indivíduo ocorrem em nível local, e não global. Isto significa que as opiniões e decisões de colegas e amigos são muito mais importantes do que da média da população na hora de decidir usar uma nova rede social, integrar um movimento político ou mesmo escolher um restaurante.

Comecemos com um modelo geral de difusão em redes heterogêneas para, em seguida, apresentar aplicações específicas para difusão de inovações e ideias.

Seja por benefícios diretos ou indiretos, vimos que em algumas redes a replicação de comportamentos dos demais pode ser vantajosa. Pensando a partir da topologia, assuma que para um dado nó as vantagens de adotar um novo comportamento crescem conforme outros nós adjacentes (que seriam amigos, vizinhos ou colegas de trabalho) adotarem este comportamento também.

Essa situação pode ser representada em um jogo de coordenação no qual, supondo que os nós v e u estejam linkados e defrontados com uma escolha entre A e B (estratégias). Nesse caso, os benefícios da coordenação de comportamentos são representados por:

- Se ambos escolherem a estratégia A, então conseguem um payoff $a > 0$
- Se ambos escolherem a estratégia B, então conseguem um payoff $b > 0$
- Se escolherem estratégias distintas, os payoffs serão 0 para ambos

Figura 18 - Matriz de payoffs do jogo de coordenação

		w	
		A	B
v	A	a, a	$0, 0$
	B	$0, 0$	b, b

Fonte: Easley e Kleinberg, 2010

A questão importante aqui é: suponha que v tenha nós vizinhos que adotem tanto A quanto B. Então o que v deve fazer para maximizar o seu payoff? Isso claramente dependerá da proporção de vizinhos adotando cada um, bem como dos respectivos payoffs. Suponha que uma fração p dos vizinhos de v que adotam A, e uma fração $1-p$ adota B. Dessa forma, se v possui um total de *d* vizinhos então a quantidade pd adota A, e a quantidade $(1-p)d$ adota B. Utilizando os valores da matriz de payoffs, o payoff associado à adoção de A é apd enquanto o payoff associado à adoção de B é $b(1-p)d$, donde escolherá adotar A se, e somente se:

$$apd > b(1-p)d \Rightarrow p > b/(a+b) = q$$

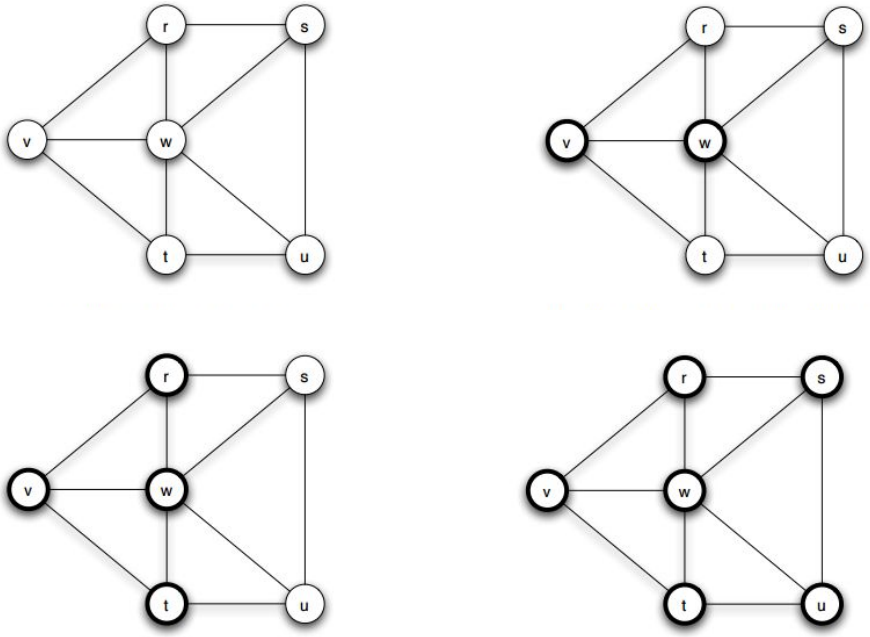
Chamemos de q o valor dado por $b/(a+b)$. A equação acima gera uma regra simples e direta para explicar a adoção de um novo comportamento em uma rede: se no mínimo uma fração $q = b/(a+b)$ seguir este comportamento, então é mais vantajoso para este nó seguir também. Em outras palavras: se a fração dos nós vizinhos adotando um comportamento A for maior do que o benefício relativo de B, dado por $b/(a+b)$, então é vantajoso para aquele nó adotar A.

Suponha que uma parcela de amigos próximos está migrando para o Telegram, por exemplo, mas um dado indivíduo ainda utiliza whatsapp. Contudo, essa parcela ainda não é maioria, constituindo 40% dos seus contatos. Se o indivíduo observar vantagens intrínsecas ao Telegram (payoff maior), o modelo nos diz que provavelmente ele mudará mesmo se a fração dos amigos não for a maioria. Por outro lado, se ele considera o whatsapp melhor, a parcela de amigos a adotar o Telegram terá de ser maior do que 50% para se tornar vantajoso realizar a migração.

A partir desse mecanismo simples de decisão individual, no qual é vantajoso adotar um novo comportamento conforme mais vizinhos o adotam, é possível evidenciar um evento cascata como previsto por Banerjee (1992). Suponha que, em uma dada

rede com 6 nós (Figura xx), um conjunto restrito de dois *early adopters* (nós v e w) decida pelo novo comportamento. Suponha também que, nessa rede, o novo comportamento tenha payoff $a = 3$, e o antigo $b = 2$. Com isso, se tornará vantajoso também adotar para os nós adjacentes a eles simultaneamente. Essa adoção, por sua vez, faz com que os últimos nós (s e u) adotem, levando a rede a um equilíbrio no qual todos os nós adotaram o novo comportamento. Por esse efeito cascata, temos dois equilíbrios imediatamente observáveis: todos adotam o comportamento novo, ou todos adotam o comportamento antigo.

Figura 19 - Processo de difusão da inovação a partir dos nós v e w: cascata completa



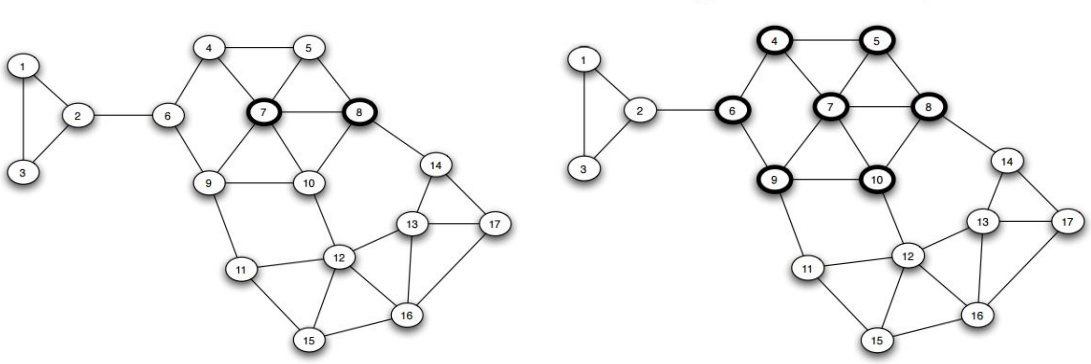
Fonte: Easley e Kleinberg, 2010

Contudo, a depender das características de cada rede, os efeitos de difusão não ocorrem na rede toda. Isto significa que equilíbrios intermediários nos quais apenas alguns dos nós adotam o comportamento novo são possíveis. A existência ou não de tais equilíbrios é, por sua vez, determinada por características associadas à densidade e clusterização das zonas ao redor dos *early adopters*, bem como ao valor limiar q que os nós utilizam para decidir fazer a transição.

Suponha uma rede (figura xx) em que dois nós (7 e 8) adotam um novo comportamento A, enquanto todo o resto permanece escolhendo B. A partir daí, cada nó decidirá adotar ou não o novo comportamento a partir do valor *q*. O processo se interrompe ou quando todos os nós escolheram A, ou em algum ponto de estabilidade no qual A e B coexistem. A determinação do equilíbrio segue os seguintes passos:

1. Suponha que os payoff associados sejam $a = 3$ e $b = 2$. Então sabemos que, para mudar seu comportamento, um nó deve ter no mínimo $q = 2/(3+2) = 2/5$ de seus nós vizinhos adotando o novo comportamento.
2. A partir daí, sabendo-se que os nós 7 e 8 adotaram o comportamento, vemos que os nós 5 e 10 migram para A, em seguida os nós 4 e 9 para, finalmente, interromper a adoção quando o nó 6 migrar.

Figura 20 - Processo de difusão da inovação a partir dos nós v e w: cascata parcial

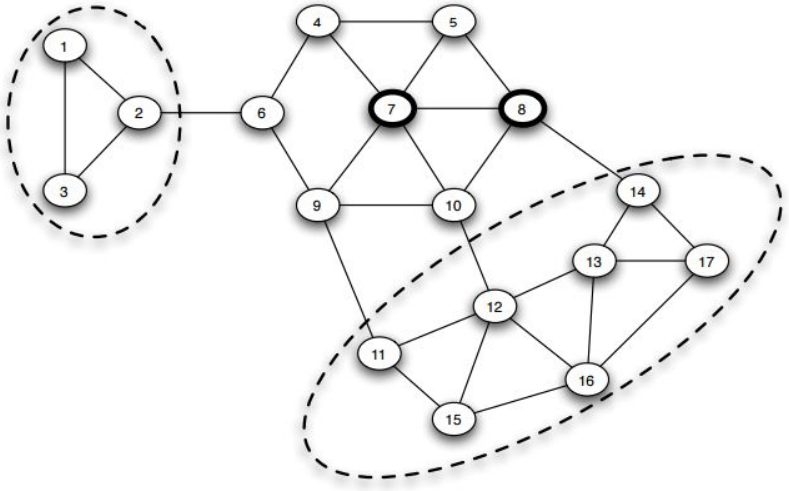


Fonte: Easley e Kleinberg, 2010

Em ambos os exemplos (figura 19 e figura 20), temos uma mesma relação de payoffs e o mesmo fator limiar de adoção q. Contudo, devido às diferenças topológicas das duas redes, em um deles o processo de difusão é completo, e em outro o equilíbrio é intermediário. Mas como saber qual será o padrão de difusão em cada rede? Trata-se de um dos poucos casos em que a similaridade entre indivíduos pode travar a difusão em vez de acelerar.

Uma comunidade densamente conectada é aquela em que a participação de um indivíduo implica que a maior parte dos links desse indivíduo também participam. De forma mais precisa, “um cluster de densidade *p* é tal que cada nó do cluster possui no mínimo uma fração *p* de de seus vizinhos no conjunto” (EASLEY, KLEINBERG, 2010, p.574). Na figura xx estão presentes dois clusters de densidade ⅔.

Figura 21 - Clusters de densidade maior do que q: interrompem a difusão



Fonte: Easley e Kleinberg, 2010

A densidade de um cluster captura seu grau de coesão. Clusters mais densos podem ser pensados como comunidades com elevado grau de integração. Pode ser um grupo que compartilha ideias e princípios políticos muito similares, ou que está habituado a utilizar de forma intensiva uma dada rede social. De toda forma, o insight central é que a presença de comunidades altamente integradas na rede (elevada densidade) é responsável por travar a difusão de inovações.

A intuição é simples: suponha um dado comportamento que começa a crescer na comunidade - uma nova ideologia política, por exemplo. Ao atingir um grupo social altamente coeso na ideologia anterior, dificilmente as ideias novas conseguirão penetrar já que a influência dos pares é muito forte e a maioria dos links de cada nó

continuará sendo do estágio anterior. Clusters constituem os únicos obstáculos para as cascatas. De modo formal, definimos:

1. Suponha um conjunto que adota inicialmente um dado comportamento A, com um limiar q para que novos nós também o adotem (isto é, se uma fração maior ou igual a q dos nós adjacentes adotam A, o nó também adotará esta estratégia)
2. Conforme a cascata começa a evoluir, o comportamento se difunde entre os membros daquela rede. Se a cascata não for completa (isto é, se travar em um estágio intermediário), isto significa necessariamente que existe um cluster naquela rede de densidade maior do que $1-q$.

Trata-se de uma definição precisa do sucesso ou fracasso da cascata naquela rede, em linha com a ideia de que novas ideias possuem dificuldade de penetrar em grupos mais coesos.

Aprendizados centrais dos modelos de difusão

O modelo apresenta um mecanismo simples no qual, ao coordenar as ações com as conexões diretas, o comportamento torna-se mais vantajoso para ambos. As externalidades e as cascatas de informação, por sua vez, são os pressupostos comportamentais que explicam este resultado.

Ao incluir no modelo a importância da estrutura topológica, especificamente a conectividade dos grupos sociais, os efeitos gerais do comportamento de um indivíduo deixam de ser homogêneos. Como consequência, o processo de difusão de uma ideia ou inovação pode ocorrer como uma cascata completa, ou como uma cascata parcial, a depender da existência de clusters de alta densidade naquela rede capazes de interromper a difusão. Nesse sentido, grupos coesos e altamente conectados são obstáculos para processos de difusão.

Estes resultados são diretamente ligados à noção de massa crítica. Uma inovação em presença de externalidade de redes exige que se atinja um limiar de difusão para se popularizar em uma comunidade. No modelo de difusão, esse limiar é dado pela fração mínima q de conexões adjacentes. Nesse sentido, torna-se mais fácil garantir a adoção da inovação, já que não depende mais do comportamento do todo, mas apenas das comunidades. Para que isso ocorra, duas estratégias básicas devem ser coordenadas: garantir *early adopters* em redes densas, e garantir que a inovação de fato melhore a situação de cada nó (payoff mais elevado, reduz o valor limiar q).

Chwe (2000, 2001) apresenta uma aplicação clássica dos modelos de difusão: sua importância na coordenação de ações coletivas, como greves e protestos. Suponha uma sociedade em que um grande protesto está planejado para o dia seguinte. Se uma parcela alta da população aparecer, o governo é enfraquecido e uma parcela enorme (incluindo os protestantes) irá se beneficiar. Por outro lado, se apenas alguns poucos participarem, então os protestantes serão presos - resultado negativo para eles, mas indiferente para os demais. Nesse caso, o fator determinante para a participação será a percepção de cada indivíduo sobre o grau de participação, o qual, por sua vez, é determinado pela parcela das suas conexões próximas que está decidida a participar.

Esse viés de percepção pode acabar por gerar dois resultados: em um, forma-se uma cascata de informação, no qual novos e novos nós são tomados da impressão de que suas conexões irão participar dos protestos. Em outro, a cascata se interrompe, e apenas algumas comunidades coesas participam, iludidas pela percepção de que uma parcela maior da população estaria presente. É por esse motivo que governos repressivos tendem a bloquear comunicações a todo custo, reduzindo a capacidade de coordenação e diminuindo a impressão de que o protesto será grande.

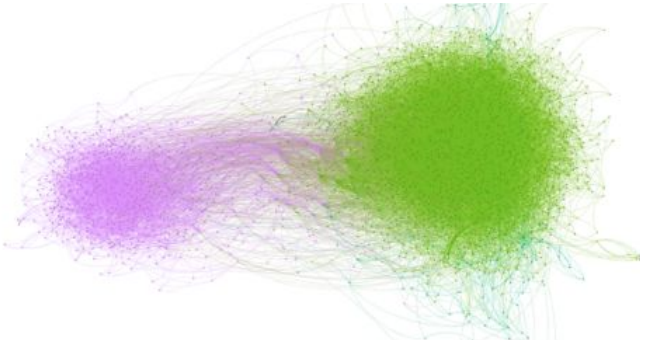
4.3 Aplicações à pesquisa em comunicação

As principais aplicações dos modelos à pesquisa em comunicação ocorrem na análise a partir de redes sociais de movimentos de ativismo político digital.

No trabalho de Recuero (2017), a autora analisa a formação de bolhas de filtro com grafos montados a partir de conversações no Twitter. O pressuposto central é de que, em função dos algoritmos de curadoria de conteúdo do feed, usuários tenderiam a ser expostos somente à visões de mundo convergentes apenas com a sua própria. Na rede, isso se manifesta através de grupos clusterizados, onde a informação "tende a ser homogênea e, frequentemente, redundante, pois os nós dentro do grupo têm acesso às mesmas fontes que trocam e reforçam o mesmo conjunto de informação" (RECUERO, 2017, p.5).

Para a realização do estudo, foram selecionados dois temas: o processo de impeachment da presidente Dilma Rousseff, e a eleição à presidência da câmara dos deputados. A partir do mapeamento desse debate, foram desenhados os grupos de circulação da informação, divididos segundo o índice de clusterização.

Figura 22 - Clusters de Opiniões no Twitter sobre o impeachment de Dilma



Fonte: Recuero, 2017

Em seguida, a autora classificou os dois grupos a partir de grau e coeficiente de clusterização, avaliando com isso o grau de coesão de cada um.

Figura 23 - Grau médio dos nós e coeficiente de clusterização nos clusters: o impeachment no Twitter

Rede "impeachment	Grau médio	Coeficiente de clusterização
Rede inteira	7.122	0.092
Cluster Verde	7.254	0.097
Cluster Rosa	5.18	0.114

Fonte: Recuero, 2017

A análise da rede permitiu a identificação de buracos estruturais consideráveis, que restringiam a circulação da informação para o todo. Empregando as noções de links fracos e pontes locais, a análise mostrou evidência de que de fato a circulação de opiniões consistentes com um lado costuma ficar restrita ao cluster em questão, resultado do fechamento triádico que caracteriza a topologia da rede.

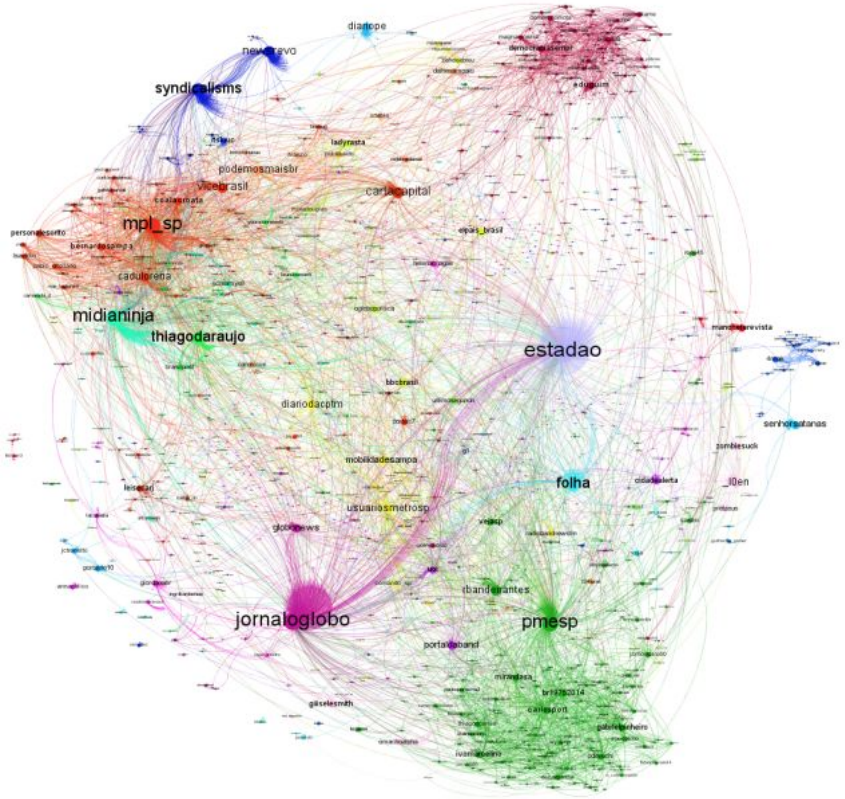
Já Malini (2016), emprega grafos para avaliar o crescimento do movimento *#Vemprarua* nas redes sociais. Do ponto de vista teórico, o autor entende que a rede deve ser caracterizada em duas frentes: pela perspectiva temporal de evolução da rede, e pela posição no espaço-tempo de cada nó que ocupa em relação às partes do todo. A avaliação é análoga ao binômio topologia - formação característico dos modelos de rede.

Em seguida, utilizando também dados do Twitter, o autor construiu a rede e separou grupos a partir do índice de clusterização. Seu objetivo, contudo, era outro: identificar na topologia as relações de poder a partir da identificação dos hubs que orientavam a disseminação do conteúdo. A partir disso, iria identificar a origem das principais mensagens, sua taxa de replicação e os clusters por onde elas circulavam.

Nesse sentido, o modelo de redes sem escalas seria útil para descrever a rede: qual a importância dos hubs na disseminação das informações? Em quais clusters de opinião os links são mais concentrados nos hubs, e em quais são menos? Como o grau de concentração dos hubs em cada cluster define o grau de coesão das mensagens circuladas? A aplicação do modelo sem escala, com identificação em cada cluster do expoente dinâmico, enriqueceria o estudo por iluminar a dinâmica

de formação em cada hub, destacando a importância relativa do hub para a construção da narrativa de cada um dos lados.

Figura 24 - Topologia do movimento #VempraRua no Twitter



Fonte: Malini, 2016

Ainda nas aplicações sobre o debate público, Vicallo, Zollo, Caldarelli, Scala e Quattrociochi (2017) analisam o processo de polarização do debate público digital sobre o Brexit no Reino Unido. Assim como Recuero, os autores buscam avaliar a

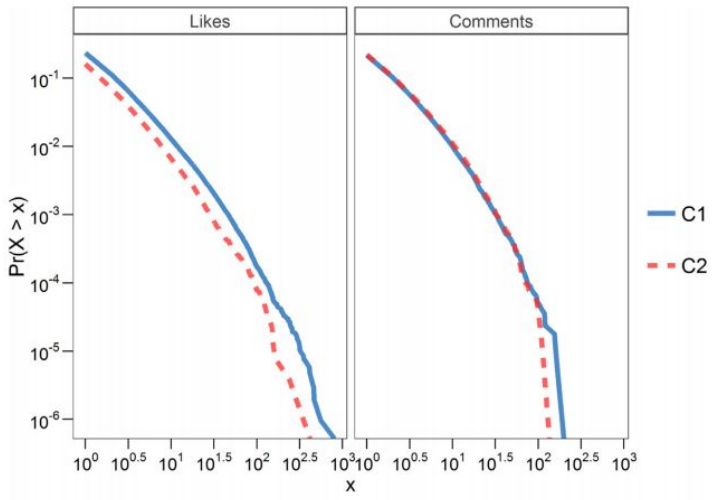
existência de câmaras de eco, isto é, a exposição seletiva gerada pelos algoritmos de seleção produz um viés de confirmação que leva à formação de grupos fechados. Nestes grupos, a interação é restrita à usuários com as mesmas opiniões, acelerando o processo de polarização em dois grandes grupos - aqueles que são contra, e aqueles que são a favor do Brexit.

Contudo, diferentemente dos demais, aqui os autores empregam modelos para avaliar o processo de formação dos blocos polarizados. Com isso, mais do que uma descrição topológica do grau de concentração, conseguem acessar os determinantes para a difusão de cada ponto de vista na rede que teriam, por sua vez, levado ao estágio de polarização do debate.

A partir da descrição do processo de difusão, os pesquisadores identificaram em páginas conspiratórias e páginas científicas os hubs centrais a partir dos quais emanaram as opiniões de cada um dos lados do debate. Empregando o modelo de cascatas, mostraram que estas primeiras páginas penetraram clusters da rede de elevadíssima densidade, resultando em sua disseminação acelerada - já que para a disseminação entre membros não pertencentes a estes hubs, utilizando a ideia de limiar mínimo, a difusão ocorre mais facilmente.

Além disso, a partir da análise dos links com conteúdos associados a cada lado do debate, identificou-se uma lei de potência associada a quantidade de likes dos principais posts de cada lado do debate. Isto é: a quantidade de interações (likes e comentários) com posts do seu lado do debate é exponencialmente mais alta do que com posts do outro.

Figura 25 - Distribuição ajustada de Comentários e Likes por post nos dois clusters do debate



Fonte: MICHELA et al, 2017

Dentre as temáticas que aparecem nos estudos de comunicação utilizando métodos de redes, o debate sobre *fake news* desponta como uma das mais populares. Recuero e Gruzd (2019) abordam o fenômeno a partir do modelo de cascatas de informação, avaliando seu padrão de difusão a partir de dados do Twitter.

Para essa análise, foram utilizadas interações com fake news acerca de dois eventos principais: o atentado à caravana do ex presidente Lula, e o julgamento acerca do *habeas corpus* também de Lula. Para descrição da rede, foram utilizadas tanto métricas de centralidade dos nós (como grau), quanto métricas de posição dos nós (coeficiente médio de clusterização, distância média e diâmetro).

Figura 26 - Características topológicas das redes de disseminação de fake news

	Rede 1: Ataque à Caravana de Lula	**Rede 2: Julgamento da prisão de Lula**
% de nós nos clusters maiores	53,72%	47,98%
Caminho médio	9,80	4,42
Coeficiente de clusterização médio	0,02	0,07
Diâmetro	20	12

Fonte: Recuero e Gruzd, 2019

A análise partiu da identificação dos nós de onde as fake news partiram para, em seguida, avaliar a extensão de seu alcance. Contudo, diferentemente do esperado, o que o estudo demonstrou foram cascatas bastante limitadas, replicadas no geral somente nas áreas mais densas da rede onde o cluster é ideologicamente mais

coeso - apenas reforçando o próprio viés ideológico. Esses resultados, a partir das cascatas, corrobora com a ideia de câmara de eco dos estudos anteriores.

Como um último exemplo, Piedrahita et al (2017) avalia como as dinâmicas de coordenação em rede promovem pequenas iniciativas (uma hashtag, um movimento ou uma campanha) para que sejam difundidas ao longo da rede. No estudo, avalia-se como ativações repetidas de movimentos como *Black Lives Matter* são responsáveis por gerar uma massa crítica de replicadores que, ao ser atingida, garante a coordenação dos agentes.

O mecanismo funciona tal qual o modelo de difusão apresentado no capítulo: ao ser impactado por ativações repetidas de um movimento (seja uma hashtag ou uma campanha), o usuário adquire a impressão de que mais estão fazendo parte daquele grupo. Com isso, passa a adotar um comportamento. Conforme o número de pessoas que faz isso atinge uma massa crítica, tem início um processo de coordenação que amplia a difusão do comportamento de forma exponencial.

5. APLICAÇÃO: DIFUSÃO DE APLICATIVOS COM EXTERNALIDADE DE REDES

Os modelos apresentados no capítulo anterior, a despeito de alguns exemplos, buscam sempre representar os fenômenos de rede de forma genérica. Esse caráter genérico é típico de modelos formais, que devem ser passíveis de aplicação em múltiplas fenômenos. Por esse motivo, quando transpostos para um contexto de aplicação, os modelos devem sofrer adaptações para ampliar sua capacidade explicativa na análise dos objetos.

O capítulo a seguir apresenta uma possibilidade de aplicação, empregando os modelos de difusão para o contexto dos aplicativos móveis. Como adaptação necessária, são delineados princípios gerais da adoção de uma nova tecnologia no nível comportamental. Estes princípios, por sua vez, são compatibilizados em um modelo de difusão com os conceitos de externalidades de redes e jogos evolucionários.

Ao fim, são levantados alguns dados de difusão de aplicativos que dialogam com os resultados específicos do modelo – ainda que para uma avaliação empírica precisa do modelo estes dados teriam de ser interpretados e parametrizados, o que foge ao escopo inicial do trabalho.

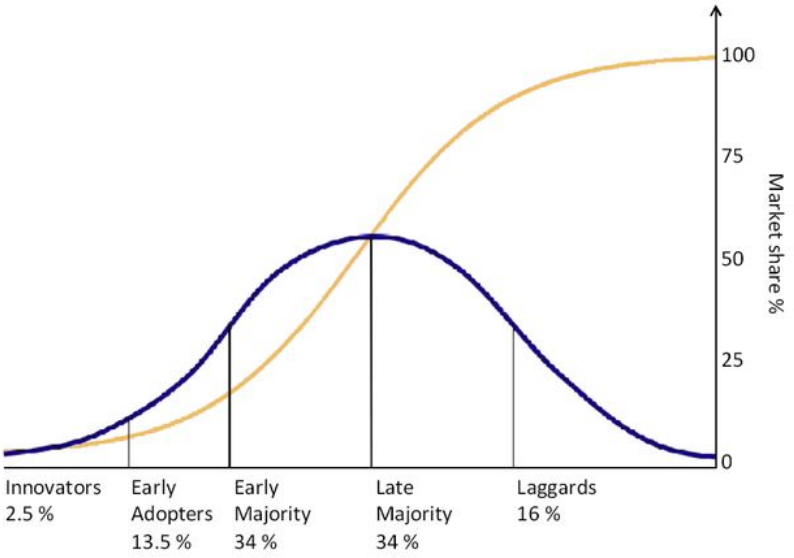
5.1 CONTEXTO DE ANÁLISE

A cada dia, novas tecnologias surgem para reinventar a forma como realizamos diversas atividades. Até mesmo tarefas triviais como chamar um táxi, assistir a um filme, pagar uma conta ou reservar um quarto de hotel sofreram profundas transformações em função da rápida disseminação das tecnologias da informação. Não obstante, com o mesmo vigor temos tecnologias antes hegemônicas precisando se reinventar para não desaparecer. É o caso do Blu-ray, do GPS, do Mp3 player e do Desktop – tecnologias que há pouco tempo soavam como grande novidade, mas que já parecem estar no limite de sua sobrevivência.

O processo pelo qual uma tecnologia é adotada em substituição de outra é fundamental para as consequências dessa transição. Se ocorrer de maneira muito lenta, é possível que sua implementação se torne insustentável, por vezes colocando em risco vultosos investimentos realizados para seu desenvolvimento. Um processo de adoção lento pode indicar uma tecnologia ainda imatura, ou excessivamente complexa para a adoção do usuário final. Por outro lado, a penetração acelerada de uma tecnologia, ainda que desejável na maior parte das vezes, pode incorrer no desmonte de indústrias inteiras, culminando em situações de desemprego e destruição de valor nocivas para o conjunto da economia.

Uma das teorias pioneiras no debate sobre a disseminação de tecnologias foi desenvolvida por Rogers (1995) em sua 'Teoria da difusão de inovações', que descreve o processo pelo qual uma inovação é comunicada através de canais específicos ao longo do tempo entre os membros de um sistema social. A teoria de Rogers ficou muito conhecida pela sua classificação em cinco perfis de adoção – *innovators*, *early adopters*, *early majority*, *late majority* e *Laggards* – que, por sua vez, descrevem uma curva logística em formato de S.

Figura 27 - Curva de difusão de Rogers



Fonte: Rogers, 1995

Na última década, o desenvolvimento tecnológico foi em grande parte marcado pela disseminação no uso de aplicativos móveis para Smartphones. Essa mudança traz novos desafios para as teorias de adoção tecnológica, mas também possibilidades analíticas até então inéditas. Essencialmente, tais mudanças ocorreram em duas frentes: usabilidade, e produção de metadados.

A noção de usabilidade tem papel central nas teorias de adoção tecnológica desde seus desenvolvimentos iniciais. Para os aplicativos de smartphones, esse conceito carrega certa especificidade já que a "usabilidade móvel inclui novos desafios relacionados à mobilidade, como o contexto de uso, a conectividade, o tamanho da tela, as diferentes resoluções de tela, a capacidade limitada de processamento, e a diversidade de interações possíveis para a entrada de dados" (ABRAN, DESHERNAIS, NAYEBI, 2012).

A produção de metadados, por sua vez, viabiliza uma revolução nos métodos de coleta. Até então, as metodologias predominantes eram experimentações laboratoriais (*laboratory experiments*) e aplicação de questionários para avaliação (*experience sampling methods*), como colocam Kronenbauer, Santos e Vieira

(2012). No contexto de aplicativos para smartphones, temos a possibilidade de captura automática a partir da aplicação (*logging*), que "baseia-se na coleta de dados referentes à interação do usuário com uma aplicação, possibilitando análises estatísticas a respeito da usabilidade. A estratégia também possibilita a utilização de sensores para coleta de dados contextuais, como luminosidade e posição do aparelho" (KRONENBAUER, SANTOS, VIEIRA, 2012).

Tendo em vista tais transformações, este estudo propõe aplicar o modelo de difusão de inovações de Rogers (1995) ao contexto dos aplicativos móveis. Para tanto, vamos adaptar o Modelo de Aceitação Tecnológica (VENKATESH, 2003) ao contexto dos aplicativos, utilizando seus constructos como base comportamental para a análise do processo de difusão. Este, por sua vez, terá como pressuposto central a ideia de externalidade de redes (VARIAN, 1998). Veremos mais adiante que são modelos teóricos metodologicamente compatíveis, já que são igualmente fundados nos pressupostos da Teoria da Ação Racional (TRA), desenvolvido inicialmente por Fishbein e Ajzen (1975).

5.2 FORMULAÇÃO TEÓRICA E SUPOSIÇÕES INICIAIS

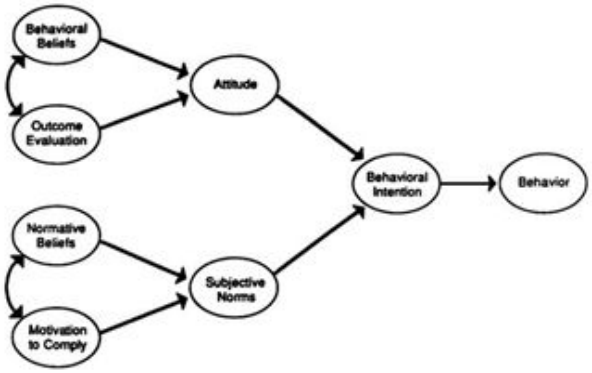
Nesta sessão, debatemos os principais desenvolvimentos do Modelo da Aceitação de Tecnologias (TAM), bem como as possibilidades analíticas geradas por um modelo integrativo da TAM com o modelo de difusão de Rogers (1995) em presença de externalidades de redes.

5.2.1 Adoção Tecnológica

Os estudos sobre adoção tecnológica são, de maneira geral, derivações da Teoria da ação Racional (TRA, originado em *Theory of Reasonable Action*) de Fishbein e Ajzen (1975). Segundo a TRA, o comportamento origina-se na intenção comportamental, a qual, por sua vez, é explicada pela combinação de atitude com o que os autores denominam norma subjetiva. A atitude é definida como o conjunto de "sentimentos positivos ou negativos de um indivíduo sobre a adoção de um

determinado comportamento" (FISHBEIN, AJZEN, 1975, pg.216), enquanto que a norma subjetiva seria "a percepção de um indivíduo de que a maioria das pessoas que lhe são importantes acredita que ele deveria ou não se comportar de determinada maneira" (FISHBEIN, AJZEN, 1975, p.302). Nesse sentido, o comportamento é o resultado de uma dada intenção, como podemos abaixo.

Figura 28 - Esquema Básico da TRA



Fonte: Ajzen, 1975

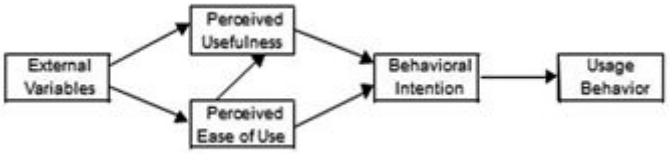
Em 1985, Ajzen viria a propor uma extensão da TRA conhecida por Teoria do Comportamento Planejado (TPB, de *Theory of Planned Behavior*). Trata-se basicamente de adicionar a percepção de controle do comportamento à TRA, de tal forma que, agora, sua intenção comportamental combine atitude e norma subjetiva mediadas pela percepção do controle que pode vir a limitar seu comportamento.

A partir da estrutura da TRA, Davis (1986) faz a primeira formulação do Modelo de Aceitação de Tecnologias (TAM, de *Technology Acceptance Model*) vislumbrando prever a aceitação e o uso de novas tecnologias da informação. Para tanto, "a TAM procura explicar os determinantes gerais da aceitação de computadores que podem vir a explicar o comportamento de usuários com um amplo leque de tecnologias da informação" (PC LAI, 2017, pg.27).

A proposição de Davis (1986), depois revista em Davis (1989), inclui e testa duas variáveis específicas: Utilidade Percebida (PU, de *Perceived Usefullness*) e Facilidade de Uso Percebida (PEU, de *Perceived Ease of Use*). A Utilidade

Percebida foi definida por Davis como “o grau no qual uma pessoa acredita que a utilização de determinado sistema pode contribuir para a melhoria de sua performance no trabalho” (DAVIS, 1989, p. 320), enquanto que a facilidade percebida de uso seria o “grau no qual uma pessoa acredita que utilizar determinado sistema estaria livre de esforço” (DAVIS, 1989, p.320). Quanto melhores essas variáveis, maior a intenção de uso do sistema e, consequentemente, mais induzido a utilizá-lo (variável comportamental).

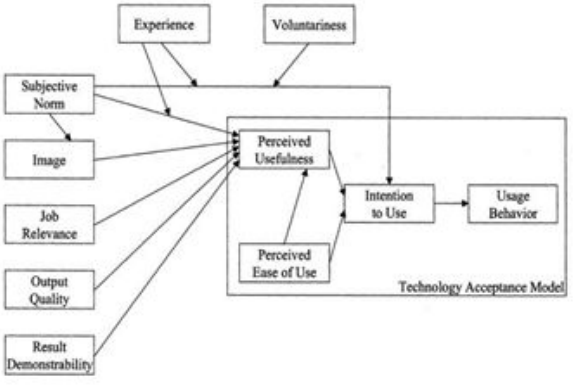
Figura 29 - Esquema Básico da TAM



Fonte: Davis, 1989

A partir destas proposições iniciais, a TAM passa por desenvolvimentos que detalham suas variáveis. A versão final é desenvolvida por Venkatesh e Davis (1996) após as descobertas de que tanto PU quanto PEU possuem influência direta na intenção de comportamento, eliminando com isso o constructo atitudinal.

Figura 30 - Modelo UTAUT

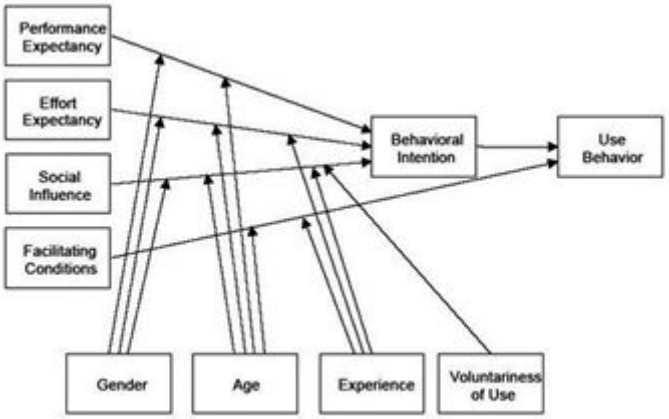


Fonte: Davis & Venkatesh, 1996

Na TAM 2, proposta por Venkatesh e Davis (2000), a PU resulta de uma avaliação mental que busca unir as metas no uso daquela tecnologia, com as consequências

projetadas de sua adoção. A partir destes avanços, Venkatesh, Morris, Davis e Davis (2003) formulam uma Teoria Unificada da Aceitação e Uso de Tecnologias (UTAUT, de *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*).

Figura 31 - Esquema Básico da UTAUT



Fonte: Venkatesh, Morris, Davis e Davis, 2003

No UTAUT, a intenção comportamental é dada pela conjugação de quatro preditores: expectativa de performance, expectativa de esforço, influência social e condições facilitadoras (Venkatesh, Morris, Davis e Davis, 2003). Enquanto que Expectativa de Performance estaria ancorada na Utilidade Percebida de Uso, a Expectativa de esoforço e a as condições facilitadoras seriam decupagens da Facilidade de Uso percebido. A Influência Social, por sua vez, opera como a norma subjetiva que media as percepções do usuário potencial.

Para as pretensões deste modelo, a proposta da TAM 2, que inclui a influência dos pares através da norma subjetiva na PU e na PEU, será a formulação adotada analiticamente no teste das hipóteses por estar em linha com a proposição do processo de difusão de inovações a partir do conceito de externalidade de rede.

5.2.2 Jogos evolucionários e externalidades de redes

Diante das especificidades apresentadas acerca do processo de adoção de aplicativos móveis, buscaremos endereçar a adoção tecnológica nesse contexto

como parte de um sistema complexo adaptativo. Para tanto, vamos utilizar o modelo de difusão de inovação de Rogers (1995), que em suas formulações mais modernas une Teoria dos Jogos Evolucionária e Externalidades de Redes.

A abordagem da difusão tecnológica como um jogo evolucionário foi abordado anteriormente nos trabalhos de Kadota e Prado (2003) e Andrushchenko (2013), referências importantes para o trabalho aqui proposto.

A proposta dos Jogos Evolucionários têm sua origem na economia, e une elementos de Teoria dos Jogos com Teoria Evolucionária da biologia. Dessa perspectiva, as decisões humanas são tomadas em redes adaptativas, em que as escolhas racionais são consequência do aprendizado e da experiência, levando o indivíduo de estágios menos eficientes para estágios mais eficientes. Nesse contexto, o caráter evolucionário funciona como um processo de otimização adaptativo, em que os indivíduos demonstram comportamento racional a partir do processo de aprendizado e adaptação, como mostram Alchian (1950) e Friedman (1953) nas obras iniciais sobre a teoria.

A Teoria dos Jogos está fundada nos princípios da economia neoclássica de racionalidade, maximização de utilidade e informação perfeita entre os agentes. Dessa perspectiva, os agentes sempre agem estrategicamente para a maximização de utilidade, levando-os à um estado de equilíbrio (equilíbrio de Nash) que constitui o estado de escolha ótima para a totalidade dos participantes. Já na perspectiva dos Jogos Evolucionários, os indivíduos explicitamente alteram suas estratégias ao longo do tempo conforme entendem melhor a estrutura do jogo e ganham experiência a partir das escolhas dos outros agentes (ALCHIAN, 1950; FRIEDMAN, 1953). O equilíbrio não é atingido, já que os indivíduos permanecem em um estado dinâmico de constante adaptação que os leva para estágios superiores de bem-estar.

Um mecanismo importante nos jogos evolucionários é a dinâmica de replicação, introduzida por Taylor e Jonker (1978). Dessa perspectiva, os agentes imprimem protocolos imitativos, de tal forma que a população que se adapta com estratégias mais eficientes tende a crescer mais rápido do que populações que adotam estratégia menos eficientes. As externalidades de redes, como propõem Varian e Schapiro (1998) e Arthur (1990), constituem o preciso mecanismo que explica essa tendência imitativa.

A influência que a adoção pelo total da população exerce na decisão do indivíduo de adotar ou não uma nova tecnologia é o que chamamos de externalidade de redes. Segundo Varian e Schapiro (1998), a massa crítica para uma dinâmica social constitui o mínimo de pessoas que devem ter adotado uma dada tecnologia para que seus seguidores se beneficiem de a terem adotado. Do ponto de vista econômico, seria a quantidade mínima de usuários para que o valor de um bem aos consumidores seja maior do que seu preço em função do acréscimo na utilidade percebida de uso (LEONARD, 1994; WEIBULL, 1995).

A dinâmica de redes na difusão tecnológica, por sua vez, gera custos específicos a ela associados. Todo elemento que ofereça resistência para a transição de uma tecnologia para outra mais eficiente pode ser entendido como um custo de transição, podendo ter ele natureza monetária, de tempo gasto, etc. Para os fins deste trabalho, abordamos três tipos de custos: perda da rede, incompatibilidade, e aprendizado.

Liebowits e Morgolis (1994) abordam os custos de perder a rede associada à tecnologia anterior. Seus resultados exibem que, de maneira geral, se no estado menos eficiente a utilidade de rede obtida é superior, a transição tenderá a demorar mais. Não obstante, no médio prazo, a transição para o estado mais eficiente irá ocorrer independentemente das perdas na utilidade de redes implicadas nessa transição. Trata-se de um custo associado a tecnologias em estágio inicial de difusão.

No caso de inadequação, temos o custo associado ao risco de se escolher uma tecnologia que não será a predominante, que é, de modo geral, produzido por assimetrias de informação. Farrell e Klemperer (2007) mostram que quando o comportamento individual desvia da tecnologia aceita pela maioria, o processo de transição da população para um novo estágio desacelera, elevando o tempo de difusão. O risco de inadequação na tecnologia utilizada em relação àquela que irá obter massa crítica constitui um custo de transição, de tal forma que a intenção individual está amplamente ligada às expectativas em relação às intenções dos demais consumidores (FARREL, KLEMPERER, 2007).

Por fim, o custo de aprendizagem se refere ao tempo necessário para o usuário aprender a operar a nova tecnologia com facilidade. Trata-se de um custo pouco abordado empiricamente na literatura de redes, devido às dificuldades de se acessar nos estudos de campo a aprendizagem de um usuário (ANDRUSCHENKO ,2013). Contudo, é possível que se trate de um dos mais determinantes custos na desaceleração dos processos de transição tecnológica (FARREL, KLEMPERER, 2007).

5.3 Modelo integrativo: difusão de inovações sob externalidades de redes

A adoção tecnológica tem sido endereçada predominantemente a partir de modelos nascidos nas teorias de aceitação (*User acceptance theories*), que trabalham os determinantes atitudinais e comportamentais da adoção de novas tecnologias. Os modelos que partem da Teoria da Aceitação Racional (TAM, TAM 2, TAM 3 e UTAUT) são exemplos, tendo consolidado resultados importantes para a compreensão do processos de adoção tecnológica.

Não obstante, ainda que ofereçam subsídio para compreender os determinantes da intenção e comportamento de uso, o caráter estático destes modelos limita sua aplicação do processo de difusão da tecnologia entre os usuários. Para superar este problema, utilizamos jogos evolucionários sob externalidades de redes, integrando as abordagens.

Nesse sentido, as proposições do Modelo de Aceitação Tecnológica (Venkatesh e Davis, 2003) devem operar como fundamentos comportamentais da dinâmica de difusão da tecnologia. Isto é, os fundamentos da adoção tecnológica no nível individual (dados pela TAM) determinarão, neste modelo, a análise do processo de difusão na lógica dos jogos evolucionários.

Defina uma função $r(z) = p$ relacionada à percepção de qualidade intrínseca do produto, isto é PU e PEU no modelo de Venkatesh e Davis (2003). A função indica que conforme aumenta a percepção de qualidade $r(z)$, maior a disposição a pagar (isto é, o preço p). A variável z, por sua vez, é a parcela da população consumindo o bem. Quanto menor o preço, maior a parcela da população consumindo, o que define uma função estritamente decrescente.

Por outro lado, a função $f(z)$ nos dá o efeito da norma social sobre a PU, que devido às externalidade de redes fica maior conforme cresce a fração z do mercado. Dessa forma, a função $f(z)$ é crescente: conforme aumenta a parcela da população consumindo, maior o efeito positivo da norma social sobre PU.

O modelo que expressa a interação da PU e da PEU com a externalidade de redes dos aplicativos é dado por:

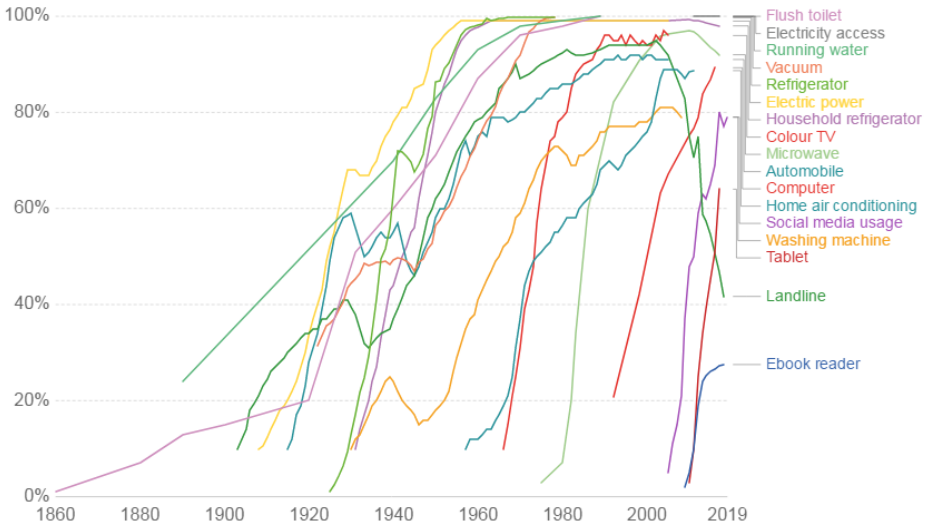
$$p = r(z).f(z)$$

Em que p é a disposição a pagar, proxy para a percepção de uso, como função da parcela do mercado z utilizando de fato o produto. O gráfico resultante da interação de percepção intrínseca e externalidade de redes é similar ao previsto no modelo de Rogers (1995), que modela a difusão de inovações como uma curva normal.

5.4 Evidências Empíricas

Ainda que fora do contexto dos aplicativos móveis, Comin e Hobjn (2004) trazem uma primeira evidência ao listar o tempo de difusão das diferentes tecnologias durante o século XX. É notável como as curvas de inovações que não geravam externalidades de redes, como o refrigerador e a máquina de lavar, apresentam crescimentos lineares, enquanto que outros como tablets e redes sociais apresentam formato logístico similar ao previsto pelo modelo.

Figura 32 - Tempo de difusão de inovações nos EUA ao longo do século XX

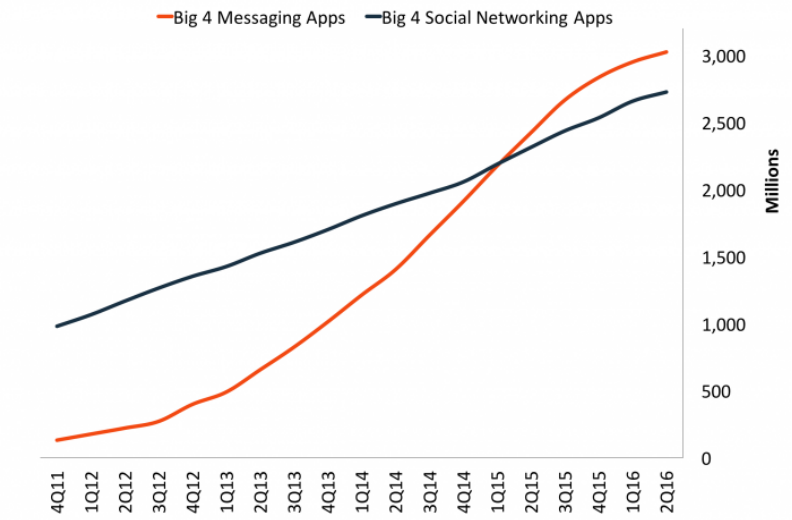


Fonte: Comin e Hobjn (2004)

De forma análoga, a partir de dados da plataforma *BI Intelligence*, ao comparar as trajetórias de crescimento de aplicativos de mensagem (em que o componente de redes é mais forte devido à incompatibilidade) com aplicativos de redes sociais, os primeiros apresentam dinâmica exponencial, enquanto que as redes sociais demonstram crescimento linear. Ainda que de fato exista também um importante componente de externalidade no uso de redes sociais, é importante pensarmos que o aplicativo de redes em si não – já que sua função seria muito mais replicar um serviço do desktop para o mobile do que conectar os usuários. Por outro lado, os

aplicativos de mensagem dependem inteiramente de compatibilidade, o que explica trajetórias de difusão mais aceleradas.

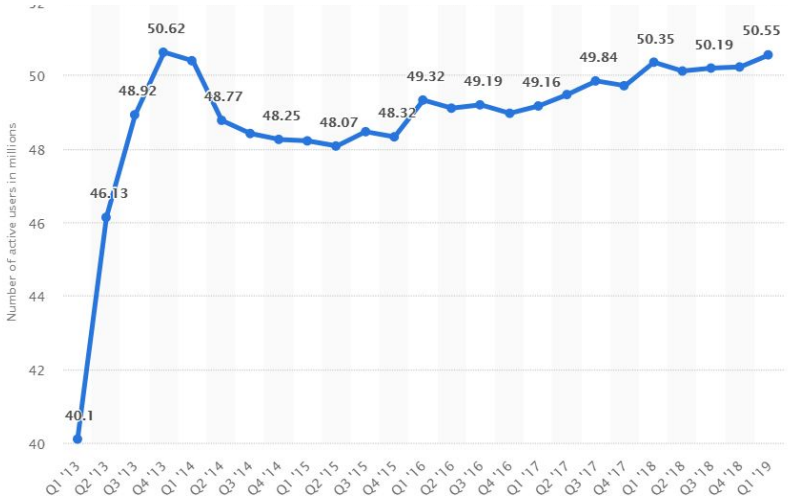
Figura 33 - Curva de adoção de aplicativos de mensagem vs. de social media



Fonte: BI Intelligence, https://www.businessinsider.com/the-messaging-app-report-2015-11

Ainda nessa linha, ao observarmos a trajetória de difusão do *Kakao Talk* (um dos principais aplicativos de mensagens do Japão) a partir de dados obtidos na plataforma Statista, vemos a força do componente de redes levando a um comportamento em lei de potência. É visível a partir do Q4 de 2013 que, apesar de uma breve queda, ocorre estabilização da base de usuários em linha com a previsão do modelo de externalidades de redes. Dinâmica similar é observada na difusão da plataforma chinesa de social media WeChat, cujo crescimento começa a se estabilizar a partir de um bilhão de usuários.

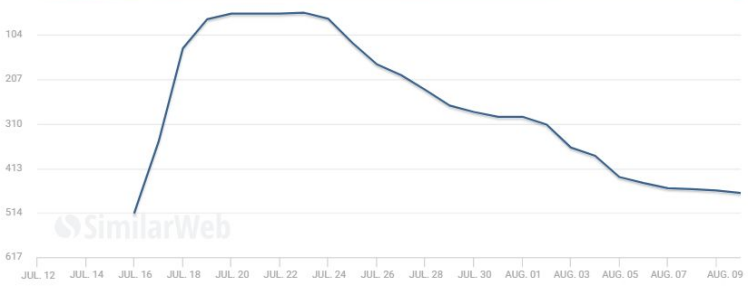
Figura 34 - Curva de downloads do aplicativo *KakaoTalk*



Fonte: Statista, ttps://www.statista.com/statistics/kakaotalk-monthly-active-users-mau/

Por contraste, a trajetória de difusão do aplicativo *faceapp* nos meses de Julho a Agosto apresenta dinâmica distinta, já que não sustenta sua base de usuários logo em seguida. Isso vai ao encontro dos resultados do modelo, uma vez que *faceapp* não é um aplicativo com forte componente de externalidades de redes, já que não demanda compatibilidade entre usuários. Por esse motivo, sua trajetória não é similar à prevista pelo modelo de Rogers (1995). Por outro lado, o crescimento explosivo com subsequente queda seria mais próximo dos resultados de modelos de contágio – que apresentam este formato quando alguns *hubs* disseminam o conteúdo.

Figura 35 - Curva de downloads do aplicativo *Faceapp* em 2019

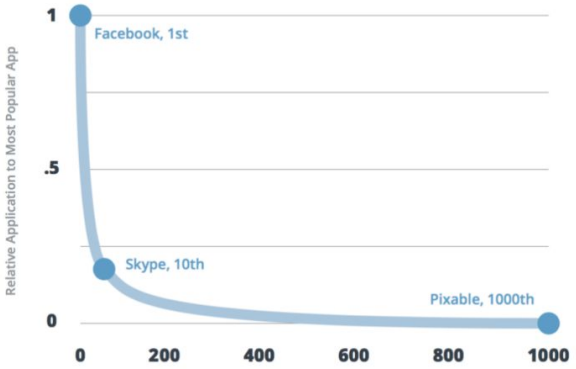


Fonte: SimilarWeb, https://pro.similarweb.com/#/apps/ranking/0_io.faceapp

Como curiosidade, vale observar a distribuição dos downloads por aplicativo ranqueados. Trata-se de uma versão extrema do modelo ricos ficam mais ricos de Barabási e Albert, com apenas 10 aplicativos concentrando mais links do que toda a

soma dos demais. Nesse sentido, é interessante observar que estes *hubs* são justamente aplicativos em que o componente de redes é mais intenso.

Figura 36 - Downloads por aplicativos em ordem decrescente



Fonte: Branch Mobile, https://blog.branch.io/

6. REFLEXÕES FINAIS

Apesar de frequentemente mencionados na dissertação, os fenômenos de rede, de fato, não existem. Ao mesmo tempo, estão em todo lugar. Isso, porque as redes são, acima de tudo, uma matriz de interpretação do mundo, uma forma específica de ordenar certos eventos. Algumas vezes é uma forma extremamente útil, outras absolutamente dispensável. Saber se a análise pela ótica das redes é a ideal resulta de sensibilidade e experiência por parte dos pesquisadores.

A opção pelas redes, assim como toda decisão epistemológica, carrega consigo implicações importantes. Trata-se da manifestação de uma visão cosmológica específica, caracterizada pela crença de que alguma ordem emerge dos comportamentos coletivos. Implica crer que os mesmos princípios definem a distribuição das proteínas em uma célula e a formação de uma manifestação na Avenida Paulista. É uma crença forte, para se dizer o mínimo, e que requer certo grau de parcimônia.

Por sorte, as evidências corroboram essa visão. E cada dia mais temos acesso a tais evidências, nos permitindo visualizar fenômenos que permaneciam inacessíveis ao escrutínio do cientista social. As possibilidades abertas por esse momento são infindáveis, e se estendem aos mais diversos campos - da medicina à economia, da matemática à história.

Diante do hall de possibilidades, as pesquisas em comunicação, mídia e cultura figuram como terreno ainda predominantemente inexplorado, apesar de fértil, para a análise de redes. A emergência do paradigma de *Media Analytics* (MANOVICH, 2018) deve começar a converter-se em transformação dos métodos de análise e coleta de dados, articulando os achados a um longo arcabouço teórico construído no campo e que se enriquece ainda mais com a disponibilidade de uma base empírica de extensão inédita.

Alguns esforços nesse sentido já estão ocorrendo, como mostram os estudos de Recuero (2017, 2019), Malini (2016), Quattrociochi (2017) e Piedrahita (2017), para mencionar alguns. As inovações ocorrem especialmente nas técnicas de coleta, que empregam recursos computacionais, e no emprego de teoria dos grafos para a interpretação destes dados. Um tanto quanto mais atípica é a opção pelos modelos formais, cerne desse trabalho de mestrado.

De maneira geral, desenvolvemos nas últimas páginas uma reflexão de natureza metodológica, defendendo e orientando o uso de modelos, advertindo para suas limitações, e propondo formas de aplicação no contexto da comunicação. Apesar da escolha de alguns modelos como foco da apresentação, mais importante do que compreender suas mecânicas específicas é acessar a heurística geral ao uso de modelos. Isto é: como hipóteses e teorias se articulam para gerar previsões, e qual o papel da matemática como linguagem para representar estas previsões.

Apresentar a mecânica de funcionamento de um modelo, e contextualizar suas aplicações, orientando pesquisas do campo para a análise de fenômenos de rede a partir deles, são, em última instância, as ambições desse trabalho.

APÊNDICE I: COMUNICAÇÃO E HARD SCIENCES

Possibilidades epistemológicas para o quantitativismo em comunicação

(trabalho apresentado ao XXVI encontro Compós, em coautoria com o prof.Dr. Luiz Guilherme de Carvalho Antunes, aqui presente como complemento ao capítulo 2.)

Os meios de comunicação digital ampliam as possibilidades de investigação no campo das ciências da comunicação. Podemos avaliar este processo em termos tanto de objeto quanto de métodos.

Enquanto objeto, a internet constitui um novo meio de comunicação e interação. Possui um dinamismo próprio distinto daquele imposto através dos meios de comunicação analógicos como televisão, jornal e rádio. Isso faz da comunicação em sua modalidade digital um objeto à parte, aberto para infindáveis possibilidades analíticas. O que caracteriza o processo comunicativo no meio digital? Qual é a nova relação estabelecida entre receptores e produtores de conteúdo? De que forma o caráter interativo altera a natureza da relação que temos com a informação? Abre-se todo um horizonte de questionamentos que se enquadram facilmente na pesquisa do campo.

A tecnologia digital traz também possibilidades de inovação metodológica para o campo. O acesso facilitado aos componentes do *córpus*, que ficam registrados em vídeos do Youtube, postagens do Twitter, notícias em portais ou imagens do Instagram, traz, por si só, novas possibilidades reflexivas e analíticas. Mas mais do que isso, o comportamento do usuário no ambiente digital gera os chamados metadados. Metadados são, em essência, dados sobre dados. Isto é, são "a informação que nós criamos, armazenamos e compartilhamos ao interagir com objetos digitais" (RILEY, 2017, pg.1) podendo usufruir deles no teste de hipóteses, na elaboração de modelos teóricos ou até em reflexões de caráter crítico:

> Se escuta música no Spotfy, fotos são postadas no Instagram, vídeos localizados no Youtube; usam o Quicken para gerir as finanças pessoais; o email, as mensagens de texto e as redes sociais para se comunicar com os outros; nos celulares, armazenam longas listas de contatos. Todo esse conteúdo gera metadados - informação sobre a criação, o nome, tópico e os features daquele conteúdo. Metadados são fundamentais na funcionalidade de sistemas que entregam conteúdo, possibilitando que os usuários encontrem itens de interesse, armazenando informações essenciais sobre eles, e compartilhando estas informações com outros (RILEY, 2017, pg. 2)

É com a possibilidade de matematização das pesquisas no campo através de metadados que este artigo se ocupa. Para isso procuraremos exibir as potencialidades que se abrem com a aproximação do campo à ciência de dados, bem como ressaltar as diversas limitações impostas pelo objeto comunicacional contemporâneo quando se realizam tentativas de descrição quantitativa dos modelos.

A hipótese inicial, assumindo provisoriamente enquanto objeto da comunicação o indivíduo em relação à mídia, é de que a mudança da mídia analógica para a digital muda também a natureza dos modelos teóricos com os quais o campo pode operar. Tal hipótese é proveniente do modelo quadripolar da geração de conhecimento, segundo o qual "a geração de conhecimento se processa em quatro níveis ou polos: epistemológico, teórico, metodológico e técnico" (MARTINS, 2009, pg. 4). Entendendo que o uso de metadados constitui um deslocamento no polo técnico, devemos dimensionar as consequências disso para os outros três, já que

constituem instâncias interligadas. Uma mudança técnica gera invariavelmente transformações metodológicas que, por sua vez, exigirão reinterpretações de caráter teórico e epistemológico para a investigação no campo.

De maneira geral, avaliamos que a partir desse deslocamento podemos migrar de um modelo de *soft science*, pautado em uma matriz analítica de caráter metafísico e puramente dedutiva, para outro mais indutivo, que sem abandonar a complexidade reflexiva incorpora hipóteses passíveis de falseabilidade empírica. Trata-se de um deslocamento que só é possível a partir do momento em que nosso objeto migra para o mundo digital, uma esfera onde comportamentos e dinamismos sociais deixam rastros, sendo estes passíveis de mensuração e modelagem matemática.

Essa conclusão parte de um paralelo do campo da comunicação com outro ramo das ciências sociais aplicadas que matematizou-se no final do século XIX: a economia. A avaliação comparada dos dois campos não só é rica por mostrar o que possibilitou o desenvolvimento da economia como uma *Hard Science*, mas também por ressaltar diferenças fundamentais entre a natureza dos objetos de cada campo, diferenças estas que constituem problemáticas profundas para quaisquer tentativas de se lidar com o objeto comunicacional a partir de abordagens quantitativas.

1. Ciências “duras” e “moles”

Thomas Kuhn, em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (1994), propõe uma divisão na estrutura lógica do avanço científico. De acordo com o autor, o desenvolvimento da ciência tem início em uma fase caracterizada por divergências acerca do objeto, dos métodos e princípios a serem adotados. Assim que surge consenso, os princípios acordados seriam então transformados em *paradigmas*. À medida que a comunidade científica apresenta divergências aos princípios paradigmáticos, algumas proposições são falseadas e substituídas por novas.

Segundo Kuhn, a revolução científica ocorreria apenas a partir do momento em que há mudança no paradigma vigente, quando há ampla aceitação dos novos

princípios, que passam a substituir os anteriores. A troca dos princípios até então vigentes no campo por novos constitui um exemplo de avanço da fronteira do conhecimento. Uma vez que se tem contato com a fronteira, não é necessário se estudar o processo histórico que levou a ela, já que a nova teoria teria como pressuposto a incorporação ou refutação das propostas anteriores.

A proposta de Kuhn é desenvolvida por Arida (1996) ao propor uma divisão da pesquisa científica entre o que o autor denomina *Hard Science*, ligada à tradição acadêmica anglicana, e *Soft Science*, relacionada à academia francesa.

Modelos teóricos de *Hard Science*, usualmente ligados às ciências exatas e naturais, costumam não estar temporalmente localizados. Isso, porque eles ignoram a história do pensamento, lidando com o que se chama de "fronteira do conhecimento". A "fronteira do conhecimento" seria o conjunto de teorias em seu estado mais desenvolvido. Sob essa lógica, cada novo avanço teórico implica abandono do estágio anterior de conhecimento, que seria de alguma forma invalidado.

De outro lado, a comunicação enquanto ciência social aplicada opera muito mais próxima ao polo da *Soft Science*. Isso, porque "o modelo *Soft Science* desconhece a noção de fronteira" (ARIDA, 1996, pg.17). No geral, os modelos teóricos da área de comunicação constituem interpretações, pensamentos muito ligados à chave de leitura que os autores possuem. Trata-se de um entendimento do conhecimento que insere cada teoria em seu contexto de produção, já que este é determinante para as proposições. Além disso, são por vezes proposições de caráter metafísico, que não configurariam saber científico na noção popperiana por não serem passíveis de falseabilidade.

De acordo com a proposição de Arida, a física constituiria um exemplo de *Hard Science* por excelência, uma vez que o treinamento para se tornar físico não requer o conhecimento da história da formação das ideias. Pelo contrário, os manuais de física possuirão tudo o que se precisa saber, já que ao aprender o que existe de

mais atual na teoria o aluno teria internalizado automaticamente o conjunto de avanços científicos que o precederam, incorporados no status presente da teoria. Estudar a história das ideias seria, no caso de teorias consolidadas, mera questão de curiosidade, não constituindo-se como exigência para dominar o campo. Tal estudo faria sentido apenas em ocasiões que houvessem dúvidas com relação à validade da teoria. Nesse caso, o conhecimento do contexto poderia contribuir para verificar (ou falsear) propostas.

Áreas que operam mais próximas ao polo da Hard Science costumam proceder segundo o racionalismo crítico apresentado por Karl Popper em *A Lógica da pesquisa científica* (1975). Segundo a definição Popperiana, o conhecimento somente pode ser caracterizado como científico estritamente quando feito através de proposições passíveis de falseabilidade. O progresso das ciências, de acordo com essa visão, somente poderia ocorrer a partir do sucessivo falseamento do(s) modelo(s) vigente(s), cuja objetividade precisa ser garantida tanto pela replicabilidade dos procedimentos metodológicos como pela previsibilidade dos resultados.

De acordo com Popper:

> Um sistema seja suscetível de ser dado como válido, de uma vez por todas em sentido positivo; exigirei, porém, que sua forma lógica seja tal que se torne possível validá-lo através de recurso a provas empíricas, em sentido negativo: deve ser possível refutar, pela experiência, um sistema científico empírico (POPPER, 2001, pg.42)

Tal visão colide com o desenvolvimento das ciências humanas e sociais, uma vez que as interações humanas, como já defendia David Hume no século 18, tendem a ser complexas e mutuamente dependentes, a ponto de não serem passíveis de determinação ou falsificação:

> A dependência mútua dos homens é tão grande, em todas as sociedades, que raramente alguma ação humana é inteiramente completa por si só, ou mesmo realizada sem alguma referência às ações de outros, que são os

> requisitos [necessários] para a resposta completa á intenção do agente.(HUME, 2007, pg.64)

O componente humano ficaria, então, a cargo das *Soft Sciences.* Segundo Arida (1996), dois princípios estruturantes do conhecimento construído por *Soft Science* o diferenciam daquele constituído pelas *Hard Sciences*: a reconciliação problemática e a intradução. Por reconciliação problemática, entende-se que as matrizes básicas de cada teoria são irreconciliáveis, de modo que "entre a matriz A e B, é problemático tanto contrapor A com B quanto sintetizá-las" (ARIDA, 1996, pg.17). Já por intradução expressa-se a ideia de que "toda transcrição de matrizes básicas envolve perdas irremediáveis" (ARIDA, 1996, pg.18). Isto é, uma vez que o contexto de produção constitui fator determinante nas proposições, é natural que apenas no próprio autor tenha-se a plena construção conceitual. Quaisquer tentativas de tradução implicariam perdas irremediáveis.

A partir destes dois princípios, entendemos que a pesquisa que pretende engendrar-se no conhecimento caracterizado por *Soft Science* precisaria familiarizar-se com boa parte das matrizes básicas (e suas eventuais contradições), como também recorrer aos clássicos daquele campo.

A título de exemplo, levemos em consideração três linhas teóricas da comunicação: a Teoria Administrativa norte-americana, a Escola de Frankfurt e os Estudos Canadenses. Pelo princípio da reconciliação problemática pode-se perceber que trata-se de campo muito mais próximo à *Soft Science*. Enquanto a teoria administrativa recorre ao *behaviorismo* para entender melhor os efeitos da comunicação de massa (e a partir disso buscar torná-la mais eficiente), a Escola de Frankfurt parte de uma matriz marxista para descrever o processo de reificação desempenhado pelos meios de comunicação no que Adorno denominaria "Indústria Cultural". Por fim, os estudos canadenses de Marshall McLuhan remontam a Harold Innis e à noção de centralidade dos meios técnicos para a organização social. Tentativas de atualizar uma teoria a partir de proposições originárias de outra escola incorrerão em problemas. Não há cenário em que uma proposição da escola

administrativa, que toma como unidade analítica o indivíduo, possa desconstruir ou mesmo atualizar concepções frankfurtianas, já que estas, por sua vez, partem da noção marxista de classe na construção da teoria crítica.

A irreconciliação de métodos (*behaviorismo* vs. materialismo histórico dialético), de unidade analítica (indivíduo vs. classes sociais), ou mesmo de finalidade do conhecimento (prático vs. crítico) impossibilita o progresso desse campo da ciência nos moldes de Popper ou Kuhn. Isso não diminui sua importância nem impede que essas três linhas de pensamento constituam o núcleo do que denomina-se Teoria da Comunicação, exibindo como de fato trata-se de um campo próximo à *Soft Science.*

Feita essa diferenciação inicial entre as duas vertentes do conhecimento científico, a questão que se coloca é: o que pode ocorrer com as ciências da comunicação diante da emergência de métodos computacionais e quantitativos? Como isso altera o próprio objeto da produção teórica no campo? Seria o quantitativismo responsável por um deslocamento em direção à *Hard Science* ou o surgimento de mais uma matriz analítica a conviver com as demais?

2. Uma trajetória de matematização

Durante muito tempo os estudos em economia estavam próximos à filosofia, versando sobre a natureza humana, a origem da riqueza, a estrutura do sistema econômico, a divisão do trabalho, o valor dos bens. Enquanto ramo da filosofia, era conhecida ainda por “Economia Política”, estando por muito tempo ligada a uma matriz de reflexão dedutiva.

Marcam esse período os Fisiocratas franceses, tendo em Quesnay seu principal nome, e o início da Economia Clássica, onde despontam Adam Smith, David Ricardo, John Stuart Mill, Thomas Malthus e tantos outros. Apesar de profundas distinções, fisiocratas e clássicos comungavam um mesmo entendimento da

Economia Política: seria o ramo da ciências morais que busca as origens da riqueza e da sua distribuição. Esse caráter fica evidente nas palavras de Smith:

> Economia política, considerada um ramo da ciência do estadista ou do legislador, propõe dois objetos distintos: primeiro, suprir renda ou produtos em abundância para o povo, ou, mais apropriadamente, possibilitar que provenham tal renda ou provento por si sós; e segundo, suprir o Estado ou *Commonwealth* com uma renda suficiente para os serviços públicos. Ela se propõe a enriquecer tanto o povo quanto o soberano. (SMITH, 1983, pg.37)

Apesar da convergência de propósitos, as propostas econômicas ainda estavam bastante próximas da definição de *Soft Science*. A corrente Fisiocrata, por exemplo, tinha como princípio fundamental o raciocínio de que toda riqueza era proveniente da terra. Isso significa que a terra, e apenas ela, é capaz de criar riqueza em uma nação visto que "o excedente é um dom da natureza" (HUNT, 2005, pg.35). Sendo a agricultura a única fonte de riqueza, o Estado deveria deixar funcionarem livremente as trocas na sociedade para distribuir essa riqueza, tributando estritamente as atividades ligadas à terra.

Por outro lado, a teoria do valor de Adam Smith defendia que "o pré requisito para qualquer mercadoria ter valor era que ela fosse o produto do trabalho humano" (HUNT, 2005, pg.47). O valor de uma dada mercadoria é dado segundo a quantidade de trabalho por ela comandada, sendo a manufatura, e não a terra, a atividade que cria valor em uma sociedade.

> O trabalho era o primeiro preço, o dinheiro da compra inicial que era pago por todas as coisas. Não foi com o outro nem com a prata, mas com o trabalho que toda a riqueza do mundo foi inicialmente comprada. (SMITH, 1983, p. 30)

Este é um dos vários exemplos a evidenciar as contradições inerentes ao uso do método científico (na concepção popperiana) no estudo de humanidades. Não há proposição da corrente clássica a respeito da origem do valor que possa ser comparada com uma proposição fisiocrata, já que cada uma parte de pressupostos básicos diferentes, nenhuma das proposições é falseável, nem tampouco parte de

operações indutivas de natureza empírica. Constituem, portanto, modelos criados para descrever a criação de valor na sociedade a partir de operações dedutivas de caráter lógico e metafísico.

A trajetória da Economia começa a mudar a partir da linha econômica chamada *marginalista*. Com base na teoria utilitária de Jeremy Bentham (1969), essa linha de pesquisa desloca a unidade analítica da economia de um modelo pautado na noção de classe, para outro centrado no indivíduo, chamado de individualismo metodológico. Ao descrever a sociedade como um conjunto de indivíduos maximizadores de utilidade, é dado um passo fundamental em direção a uma ciência de base mais empírica e mais quantitativa.

De acordo com essa proposta de enfoque, a sociedade deixaria de ser um objeto abstrato e sujeito às mais variadas especulações para se transformar em um coletivo de unidades individualizadas. Ainda assim, o individualismo metodológico e o utilitarismo não são suficientes na transformação da Economia Política em uma ciência de caráter quantitativo nos moldes popperianos. A Utilidade, por constituir uma medida abstrata, ainda não poderia ser auferida em termos absolutos. Para contornar o problema, economistas passaram a buscar vias alternativas. Uma das mais relevantes para a nossa proposta é a ideia de *marginalismo* – a substituição das medidas absolutas de utilidade, que não poderiam ser facilmente medidas, por variações marginais da utilidade nas trocas de mercadorias. Ao focar a variação em detrimento do valor absoluto, torna-se mais fácil comparar diferentes decisões de consumo, já que estas passam a ter base não na utilidade total, mas na utilidade marginal gerada por cada novo bem adquirido.

> A utilidade deve ser considerada como medida idêntica à adição feita à felicidade de uma pessoa. (...) Devemos, assim, discriminar cuidadosamente a utilidade total gerada por qualquer bem, da utilidade associada a alguma fração particular deste bem. A utilidade total do alimento que comemos consiste em sustentar a vida, e pode ser considerada elevada. Contudo, se subtraímos um décimo de tudo o que comemos diariamente, nossa perda seria mínima. (JEVONS, 1965, pg.45)

Para tornar a medida marginal mensurável, era necessário um instrumento de medida universalmente aceito. A moeda, por sua disponibilidade e facilidade de mensuração, tornou-se o instrumento preferencial. Outras unidades de valor, como reputação, confiabilidade, risco e retorno a longo prazo surgiriam posteriormente, em sua maioria baseados na troca de mercadorias com base no valor mutuamente aceito da moeda.

O objeto da Economia, vale ressaltar, é a avaliação de tomadas de decisão em contextos específicos, normalmente no que se convencionou chamar de *mercados*. Estes seriam caracterizados pela existência de dois tipos de agentes: os que compram e os que ofertam. O principal elemento de mediação da relação entre esses agentes é a moeda. A priori, qualquer ação fora dos mercados não diria respeito aos estudos econômicos, tampouco decisões que não podem ser medidas em unidades monetárias. Em outras palavras, o objeto de estudo não é o indivíduo, mas o seu comportamento em situações de interação de mercado.

O principal motivo pelo qual o objeto econômico adquire caráter quantitativo é a restrição de sua análise à decisões intermediadas por moeda. Nas palavras de Alfred Marshall:

> Economia é um estudo dos homens tal como vivem, agem e pensam nos assuntos ordinários da vida. Mas diz respeito, principalmente, aos motivos que afetam de um modo mais intenso e constante a conduta dos homens na parte comercial da sua vida. (...) o motivo mais constante para a atividade dos negócios é o desejo da remuneração, a recompensa material do trabalho. Essa remuneração poderá ser gasta egoística ou altruisticamente, para fins nobres ou mesquinhos, e nisto influi a variedade da natureza humana. Mas o motivo é dado por uma determinada soma de dinheiro: e é esta exata e determinada medida em dinheiro que permitiu à Economia avançar sobre os demais ramos do estudo do homem. (MARSHALL, 1920, pg.33)

Há que se ter clareza da moeda enquanto instrumento apto a aferir indiretamente grandezas econômicas. Recorrendo novamente a Marshall, “é essencial notar que o economista não se arroga a possibilidade de medir diretamente as inclinações do espírito, mas só indiretamente através de seus efeitos” (MARSHALL, 1920, pg.34). Com base nesse pressuposto os economistas criaram uma forma de ciência baseada em modelos matemáticos, utilizando-se sempre de valores monetários como via para análise dos fenômenos de natureza econômica.

A partir da virada marginalista, o processo de matematização das ciências econômicas avança de maneira acelerada, culminando no que se denomina Economia Moderna. Esta, por sua vez, caracteriza-se fundamentalmente por operar de maneira muito mais próxima à uma *Hard Science* do que a Economia Política. São abandonados do escopo econômico os debates de caráter moral e político, convertendo-se em uma ciência que busca fundamentalmente, nos termos de Lionel Robbins (1945), encontrar as alocações mais eficientes de recursos para fins que sejam dados. A economia torna-se uma ciência aplicada.

Cálculo, estatística e econometria convertem-se nas ferramentas fundamentais desta nova versão do economista, que a partir delas passa a aplicar modelos e testar hipóteses. O individualismo metodológico consolida-se enquanto núcleo da teoria econômica, o pressuposto que norteia o avanço da ciência. Com ele, o problema da irreconciliação de métodos é superado, possibilitando a criação de uma fronteira do conhecimento que aproxima a economia das ciências naturais.

3. Em busca de um instrumento

> Novas maneiras de se pensar e de conviver estão sendo elaboradas no mundo das telecomunicações e da informática. As relações entre os homens, o trabalho, a própria inteligência dependem, na verdade, da metamorfose incessante de dispositivos informacionais de todos os tipos. (...) Não se pode mais conceber a pesquisa científica sem uma aparelhagem complexa que redistribui as divisões antigas entre experiência e teoria. (LÉVY, 1993, pg.4)

Tecnologias digitais podem propiciar ao campo da comunicação novos instrumentos de medição e previsão, capazes de promover uma transformação de magnitude similar à ocorrida pelo uso do valor marginal da moeda nos estudos econômicos. O princípio que guia este raciocínio é de que a lógica pela qual a moeda instrumentaliza a apreensão do mundo econômico é similar à lógica pela qual as tecnologias digitais passam a operar nas interações sociais contemporâneas. Mas, afinal, o que de fato caracteriza esta lógica?

A moeda, em essência, traduz de forma simplificada e reduzida diversas decisões de oferta e demanda dos agentes econômicos em quantidades. Essa simplificação, mesmo com seus defeitos e limitações, habilita estudos de razoável precisão a respeito de como as interações baseadas na moeda refletem de maneira agregada a média das motivações nos mercados, permitindo que a teoria econômica construa modelos para descrever dinâmicas sociais.

Tais modelos só são possíveis, contudo, devido ao caráter distribuído e fiduciário da moeda. Por ser distribuída, a moeda opera como o tecido mediador da totalidade das transações comerciais. Consequentemente, acaba por registrar quantitativamente estas transações. Por seu caráter fiduciário, ela é capaz de captar motivações de maneira orgânica. Diferentemente de um questionário que induz uma resposta, a transação da moeda revela motivações dos agentes pelo simples fato de que eles acreditam no seu valor. Trata-se de um fator fundamental na capacidade dos modelos econômicos refletirem com precisão dinamismos sociais que permaneceriam ocultos sem a moeda.

No ambiente contemporâneo, o smartphone representa cada vez mais o papel de um “companheiro” digital. Presente na maior parte das atividades cotidianas, ele funciona como despertador, relógio, comunicador, GPS, câmara, rádio, TV, acesso às redes sociais e, naturalmente, telefone. Há cerca de 4 bilhões de usuários desses dispositivos no mundo, cujo tráfego de dados cresceu 50% apenas no

período entre 2015 e 2016. No Brasil o número de usuários chega a cerca de 170 milhões, aproximadamente 85% da população.

O smartphone contemporâneo está mais para um computador portátil dotado de sensores do que para um telefone, e o número de sensores tende a crescer. Modelos bastante populares já possuem sensores de movimento, posição, velocidade, proximidade e geolocalização. Modelos mais modernos tem esses sensores e diversos outros.

Aplicativos para smartphones são muito populares no Brasil[4]: seus principais usos são comunicação (*WhatsApp, 93% dos pesquisados, Skype, 11% e Snapchat, 6,5%*), redes sociais (*Facebook, 79%, Instagram, 37%, Twitter, 14% e LinkedIn, 5%*), Vídeo e música (*YouTube, 60%, Netflix, 9,5% e Spotify, 5,5%*), Jogos (35%), Mapas (19%) e Bancos (10%).

A maior parte dos aplicativos, serviços de informação e mídias sociais é oferecida de forma gratuita para seus usuários. Com isso, tecnologias digitais como o smartphone passam a estar presentes na mediação das relações sociais, operando enquanto sensores de hábitos e comportamentos de usuários. Trata-se do novo tecido que permeia a instância comunicacional da vida social e, com isso, registra suas características.

Inicialmente, devemos ressaltar algumas distinções entre as peculiaridades de cada instrumento. Se a moeda é em si o meio e a medida, as tecnologias obedecem outra lógica. Diferentemente, celulares e navegadores são instâncias de mediação das interações, não constituindo em si instrumentos de medidas. A mensuração ocorre através dos rastros deixados pelas interações tecnologicamente mediadas, rastros estes chamados de *Metadados*. Os *Metadados,* ou "dados sobre dados", são a informação coletada pelos serviços e aplicativos digitais que pode ser armazenada e interpretada de forma nunca antes possível. Da mesma forma que a moeda simplifica e traduz uma série de intenções na interação econômica, os metadados

agregados por serviços de interação social podem ser armazenados e gerenciados em grandes bases de dados.

Uma consulta a um serviço via Internet nada mais é que uma operação de transferência de dados entre máquinas. Essa transação deixa vários tipos de rastros, que vão da análise da atividade do servidor à instalação de códigos no website que são disparados a cada interação do usuário. O registro desses rastros, normalmente invisível para o usuário, pode identificar a origem e localização geográfica do visitante, o tempo dispensado no serviço, o preenchimento de formulários, as interações de conversa, comentário ou apreciação de conteúdos disponibilizados por outro, visualizações de vídeos, download de documentos e compartilhamento de conteúdos, entre outros. Os dados pessoais de identificação costumam ficar em sigilo, interpretados apenas em grupo, como base estatística.

Através da coleta desses dados em grandes quantidades, as interações sociais, normalmente repletas de sutilezas e dependentes de contextos e interlocutores, podem ser compiladas e interpretadas. Um exemplo são os modelos capazes de inferir humores e opiniões, uma área de pesquisa estatística chamada de *Sentiment Analysis and Opinion Mining* a partir de redes sociais, como define Bing Liu, da Universidade de Illinois:

> *Sentiment analysis and opinion mining* é o campo de estudo que analisa a opinião das pessoas, sentimentos, avaliações, atitudes e emoções a partir da linguagem escrita. É uma das áreas de pesquisa mais ativas no processamento de linguagem natural e também vastamente utilizada na pesquisa de dados. Essa pesquisa expandiu-se para além da Ciência da Computação para as Ciências de Administração e Ciências Sociais, devido à sua importância para os negócios e sociedade como um todo. A crescente importância da Sentiment Analysis coincide com o crescimento de mídias sociais, como avaliações, discussões em fóruns, blogs, micro-blogs, Twitter e redes sociais. Pela primeira vez na história humana há um grande volume de dados de opinião, registrado digitalmente para análise. (LIU, 2012, pg.12)

Os metadados gerados pelas tecnologias de comunicação digital despontam, portanto, como uma oportunidade de mapear e visualizar facetas de dinâmicas sociais. Assim como a moeda, smartphones estão distribuídos pela a sociedade, mediando a relação dos usuários com empresas, governos, produtos, veículos de informação e, naturalmente, outros usuários.

Os comportamentos sociais mediados por tecnologias digitais costumam ser bastante espontâneos, o que garante a qualidade dos dados coletados por seus provedores de serviços. É assim que o ambiente digital é transformado em um tecido que permeia a esfera pública, viabilizando o mapeamento de opiniões, relações entre usuários, preferências, engajamento com conteúdos, localização geográfica, deslocamentos e toda uma infindável lista que só tem limites na criatividade de se pensar vias para mensuração e cruzamento dos dados. Uma pesquisa feita pela Comissão Federal de Comércio dos EUA, analisando nove das maiores empresas de coleta e comercialização de dados (*Data Brokers*, ou corretores de dados) nos Estados Unidos chegou às seguintes conclusões:

> **O segmento de corretores de dados é complexo, com múltiplas camadas intercambiando informações.** Os corretores de dados fornecem dados não só para os usuários finais, mas também a outros corretores de dados;
>
> **Corretores coletam dados de várias fontes, em grande parte sem conhecimento de quem os fornece.** Os dados recolhidos podem incluir informações de falência, registro de votação, dados de compra do consumidor, atividades de navegação na internet, dados de garantia e outros detalhes de interações cotidianas, de fontes comerciais e públicas. Enquanto cada fonte pode fornecer alguns dados sobre as atividades do consumidor, corretores podem aglutiná-los para formar um composto detalhado de cada pessoa; e

Corretores combinam e analisam dados para fazer inferências, incluindo relações potencialmente sensíveis. Categorias potencialmente sensíveis incluem etnias, níveis de renda, idade, histórico de moradias, nível de escolaridade e suas combinações.

Em outras palavras, os dados já são coletados. Eles são, em sua maioria, restritos a serviços comerciais que os comercializam para potenciais interessados no envio de mensagens direcionadas de marketing.

4. Desafios epistemológicos e práticos

Apesar promissora, a simples existência de um instrumento capaz de mensurar comportamentos midiáticos é insuficiente para um deslocamento quantitativo dos modelos em ciências da comunicação. É importante ressaltar o surgimento de problemas de caráter epistemológico devido a natureza do objeto comunicacional. Eles podem ser classificados em três categorias:

a) **Objeto:** características do consumo de mídia e interação social mediada por redes sociais;
b) **Finalidades:** intenções da produção no campo; e
c) **Instrumento:** Métricas múltiplas, de validade questionável e frequentemente de fontes privadas

Comecemos pela natureza do objeto, talvez o principal desafio epistemológico. Mais uma vez retomando o paralelo com as ciências econômicas, a capacidade de tradução matemática dos comportamentos só é possível dadas as características do homem nos mercados (*Homo economicus*): trata-se de um indivíduo, em linhas gerais, racional e maximizador de utilidade, portanto razoavelmente previsível e determinável em seus padrões sociais.

A lógica econômica não atribui essas características ao comportamento humano genérico, mas estritamente às motivações dos agentes de mercado em sua oferta

e/ou demanda de bens. Tendo como pressuposto um indivíduo racional e maximizador de utilidade, a previsibilidade dos comportamentos permite a enunciação de leis de tendência facilmente traduzidas em modelos matemáticos.

No mundo da comunicação a natureza das interações sociais é bastante diferente, o que dificulta muito a descrição matemática dos modelos teóricos. Diferentemente dos mercados, uma exposição pessoal ou interação social não se trata de um comportamento com caráter estritamente racional. Em verdade, os hábitos de mídia são muito mais marcados por fatores ambientais, cognitivos e subjetivos do que propriamente racionais. O caráter indeterminado da interação social online dificulta a determinação de padrões ou tendências de comportamento. Diferente da economia, a natureza do comportamento com a mídia não é marcada por previsibilidade e nem tampouco por interações facilmente previsíveis.

Não obstante, é preciso ressaltar que as proposições teóricas através de um determinismo matemático constitui apenas uma forma do pensar quantitativo. O uso de “leis” é algo que as ciências econômicas importaram da física, e sua aplicação ortodoxa frente à complexidade da esfera social sempre foi questionada. Por outro lado, ferramentas estatísticas e computacionais são cada vez mais utilizadas na procura de relações repletas de indeterminação. Por mais que um modelo teórico de comunicação possa ser enunciado através de uma fórmula, as possibilidades de análise estatística são cada vez maiores. Em vez de buscar uma lei que totalize a compreensão de um dado fenômeno, a estatística deve permitir a avaliação de padrões e tendências em circunstâncias pontuais, mensurando até mesmo o nível de incerteza da situação analisada.

Esse tipo de matriz interpretativa está bastante alinhada com as proposições teóricas de Bruno Latour (2007), que vislumbram um modelo de análise sociológica empírico e, ao mesmo tempo, repleto de indeterminação. Deixa-se de buscar uma teoria totalizante em detrimento do entendimento contextual, singular e único dos fenômenos.

Passemos agora para o ponto dois, acerca das pretensões. A partir da consolidação marginalista na economia, o núcleo do campo se restringiu a buscar alocações eficientes de meios para dados fins. Com isso, ficam excluídos da ciência econômica ortodoxa debates de caráter moral sobre os fins, que passam principalmente para outros ramos das ciências sociais. Debater se a busca por crescimento do PIB é a melhor via para o desenvolvimento seria, nesse sentido, um debate alheio ao escopo da economia, já que esta versaria estritamente sobre a melhor alocação de recursos possível para um dado crescimento almejado.

A pesquisa no campo da comunicação, no entanto, conta com uma rica multiplicidade de pretensões. Há linhas em que predomina o debate crítico sobre a cultura e a mídia, reflexões de caráter puramente teórico sobre as características do processo comunicacional, e até mesmo linhas de caráter experimental que utilizam neurociência e psicologia cognitiva no entendimento dos aspectos subjetivos do comportamento.

Se nas ciências econômicas o consenso ao redor das pretensões facilita a matematização do campo, em comunicação a questão não é tão simples. Quando a ciência se porta enquanto ferramenta na busca da melhoria de um processo, seja ele a alocação de recursos ou a busca por um modelo de comunicação mais eficiente, não há dúvidas de que a estatística e o cálculo são extremamente valiosos. Por outro lado, quando o fim com que se pesquisa é propor um debate de caráter moral e crítico, há uma grande propensão em restringir-se ao processo argumentativo e retórico tradicional das ciências humanas. Ainda que a matemática e a busca por métodos mais objetivos de construção do conhecimento de fato encontrem seu lugar de excelência na busca por melhoria de processos, não devemos descartá-las de imediato na produção reflexiva. Com possibilidades cada vez maiores de se apreender aspectos da esfera social, a teoria crítica passa a contar não só com o arsenal retórico, mas também com outro de caráter empírico.

Esse vislumbre de uma teoria crítica mais próxima ao modelo de *Hard Science* não é novo, e carrega muita controvérsia. A grande dificuldade constitui a procura por

um modelo mais objetivo, com procedimentos replicáveis e previsibilidade de resultados. Hoje, na produção científica em ciências da comunicação predominam esforços hermenêuticos de diversas ordens, que mesmo quando carregados de brilhantismo permanecem ligados ao raciocínio interpretativo pessoal de cada autor.

A busca por uma construção reflexiva de base empírica, por outro lado, implica um esforço maior de afastamento na busca por análises que, se jamais serão plenamente objetivas, poderão ser facilmente checadas pelo mais questionador dos leitores, que Bruno Latour chamará de “Opositor Inflexível” (LATOUR, 1998, pg.91). Em última instância, conciliar as construções hermenêuticas da *Soft Science* com recursos quantitativos e computacionais que fortaleçam a produção científica no campo da comunicação é objetivo final deste artigo.

Explicitando, enfim, o último dos problemas de caráter epistemológico, temos a questão das métricas. Trata-se de um ponto que afasta definitivamente o processo de matematização das ciências econômicas das possibilidades que se abrem para o campo da comunicação. Enquanto que a moeda foi um medidor das motivações utilitárias dos indivíduos, é impossível pensarmos uma única medida oriunda dos metadados provenientes de interações sociais mediadas por tecnologias digitais. Por outro lado, as associações entre diferentes perfis em redes sociais permitem mapear os diferentes núcleos de aglutinação.

A grande possibilidade de registros que podem ser extraídos das interações sociais mediadas por tecnologias digitais permite um potencial maior no uso de dados digitais para elaboração de análises estatísticas do que para a proposição de leis de tendência dos comportamento. Ficaria a cargo da inventividade de cada pesquisador pensar formas mais sofisticadas de usos para estes dados na pesquisa científica.

5. A inevitável matematização das ciências sociais aplicadas

A intenção deste ensaio é chamar a atenção dos pesquisadores de humanidades para as novas ferramentas e possibilidades oriundas das interações sociais mediadas por redes sociais digitais e as possibilidades que se abrem para o campo das ciências da comunicação a partir do uso de ferramentas computacionais e quantitativas na análise desses dados.

Partimos do entendimento que os metadados provenientes das interações mediadas pelo ambiente digital constituem recursos capazes de apreender dimensões até então ocultas do processo comunicacional. Por mediarem a relação entre os usuários e o ambiente digital, os serviços de mídias sociais passam a operar como sensores de comportamentos, sendo estes, por sua vez, produtores de rastros passíveis de mensuração, armazenamento e análise.

Esta ambição não deve ser confundida com um pretenso deslocamento do campo em direção ao modelo de produção científica positivista, estritamente ligado a estrutura de investigação das *Hard Sciences*. De fato, com a possibilidade de mensuração podemos adotar procedimentos próximos ao modelo de pesquisa determinista nos moldes positivistas. Contudo, mostramos também que a natureza do objeto comunicacional possui marcas distintivas que, por mais que agora possam ser tratados com mais objetividade, através de metodologias rigorosas e replicáveis de análise dos dados, isso não implica de maneira alguma no abandono o caráter hermenêutico da produção no campo. Em verdade, o caráter interdisciplinar é justamente a marca distintiva do campo, já que "o campo da comunicação se constitui a partir da multiplicidade de discursos que originam e configuram a unidade do discurso da comunicação" (BACCEGA, 1998, pg.104)

É importante, acima de tudo, levar em conta a existência de uma dimensão política nas transformações científicas. Se a matematização das ciências econômicas só foi possível por que um conjunto de pressupostos tornou-se hegemônico, hegemonia esta que fez com que debates sobre a natureza da ação humana se tornassem “superados” e exteriores ao escopo da ciência, o mesmo vale para a comunicação. Foi só a partir da consolidação de um núcleo duro, citando Lakatos (1989), que a

economia passou a avançar a partir de testes econométricos, criando o que convenciona-se chamar hoje de Ortodoxia. Da mesma forma, a adoção ou não dos procedimentos aqui mencionados depende do nível de consagração que seus pressupostos analíticos receberão, bem como da inclinação dos membros do campo a adotarem instrumentos computacionais e quantitativos como vias para a reflexão sobre fenômenos comunicacionais.

Este ensaio busca contribuir para um debate que se inicia sobre o uso de metadados na pesquisa em Ciências Humanas. O dimensionamento epistemológico é fundamental para se compreender que, assim como qualquer instrumento, as tecnologias digitais não apreendem a realidade em si, mas apenas uma versão dela. O comportamento do internauta não é um análogo perfeito do comportamento exterior a esfera digital. As questões são muitas e abrem espaço para um necessário debate sobre o status das ciências sociais aplicadas diante da revolução digital.

APÊNDICE II: TEORIAS DA INOVAÇÃO EM PERSPECTIVA HISTÓRICA

(texto apresentado no exame de qualificação como complemento teórico à análise de adoção tecnológica do capítulo 5, retirado do corpo do texto para a versão final)

Tratamos, neste momento, de delinear historicamente a evolução de algumas das teorias que versam sobre a natureza da inovação e sobre a evolução tecnológica. O propósito ao qual se apresenta este delineamento constitui a identificação de possíveis relações entre as proposições teóricas apresentadas, e o contexto no qual seus propositores as desenvolveram.

Tomaremos como ponto de partida a relação da teoria marxista com a técnica, enfatizando os elementos de natureza política imbricados à visão do autor. No singular contexto em que se apresenta, veremos como a experiência da revolução industrial e o contexto econômico do capitalismo industrialista do século XIX manifestam-se no entendimento marxista da evolução tecnológica.

Adentrando o século XX, vemos como Schumpeter elabora a partir do conceito de 'destruição criativa' uma teoria do desenvolvimento tecnológico que agrega elementos da teoria marxista ao contexto de efervescência econômica vivida pelo ocidente na segunda revolução industrial.

Seguimos para o pós guerra, em que Vannevar Bush, diante das profundas transformações da sociedade norte-americana, lança mão do modelo linear de inovação e inaugura a tradição fundada nos sistemas de inovação, aproximando o desenvolvimento tecnológico da ciência básica.

Passando para a segunda metade do século XX, Douglas North apresenta a visão de inovação orientada por transformações institucionais. Nesse sentido, desloca a análise das políticas de estado de ciência e tecnologia para a busca por incentivos que condicionem interações sociais no sentido da transformação tecnológica.

Por fim, com a formação do corpo tecnológico da microeletrônica e da computação nas décadas de 1970 e 1980, encontramos na abordagem evolucionária de Brian Arthur uma alternativa ao modelo linear que responde adequadamente ao contexto que se apresenta.

Com este delineamento histórico não buscamos um panorama completo das teorias e modelos que abordam a inovação tecnológica. O intuito aqui é, de outro modo, identificar proposições significativas que foram moldadas e moldaram o entendimento de inovação em diferentes momentos do últimos século. Com isso, poderemos diagnosticar melhor as insuficiências que estas matrizes teóricas apresentam para o entendimento do desenvolvimento tecnológico no contexto contemporâneo.

Antes de partir para a análise das teorias, fazemos um comentário sobre a natureza da análise de ideias a partir de seu contexto histórico de produção - área que costumeiramente é referida como 'história das ideias' ou 'história do pensamento'.

1. POR QUE UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA?

A inovação constitui um fenômeno presente desde as formas mais primitivas de organização da sociedade humana. Contudo, é no século XX que ela alcança seu atual status, transformando-se em um dos marcos fundamentais do avanço da civilização. Nesse sentido, inovar converte-se em política de estado, em estratégia de empresas e em condição para a melhoria do bem-estar humano.

> Em anos recentes, a palavra inovação ganhou notoriedade e passou a povoar declarações, documentos e programas de modernização industrial no mundo todo. Autoridades públicas, empresários, lideranças trabalhistas e pesquisadores acadêmicos das mais distintas regiões e correntes, geraram um quase consenso em torno de suas anunciadas virtudes. Inovação ganhou corpo e a musculatura, e se exibe como uma necessidade imperativa para qualquer empresa em tempos de inovação (ARBIX, 2006, pg.143)

A questão que se coloca, assim, é porque a inovação tornou-se tão central no último século sendo que tem reconhecido papel para o desenvolvimento humano já há milhares de anos. Em extenso trabalho de 2008 da universidade de Québec, denominado *Project on the Intellectual History of Innovation*, Benoit Godin levanta também a mesma questão:

> Innovation is also a central idea in the popular imaginary, in the media, in public policy and is part of everybody's vocabulary. Briefly stated, innovation has become the emblem of the modern society, a panacea for resolving many problems, and a phenomenon to be studied. As H. Nowotny defines our epoch: it is a fascination and quest for innovation. (...) This suggests three questions. First, why has innovation acquired such a central place in our society or, put differently, where precisely does the idea of innovation come from? To many, innovation is a relatively recent phenomenon and its study more recent yet: innovation has acquired real importance in the twentieth century. In point of fact, however, innovation has always existed. The concept itself emerged centuries ago. (GODIN, 2008, pg.5)

Para responder o questionamento, Godin propõe duas hipóteses principais. A primeira seria de que, no século XX, inovação tornou-se sinônimo de novidade tecnológica, o que, por sua vez, teria resultado da conjunção de dois fatores principais: 1) o avanço da cultura do consumo e seu corolário capitalista: o

desenvolvimento industrial através da inovação tecnológica, e 2) a introdução da inovação enquanto categoria de investigação acadêmica, ligada à estudos sobre tecnologia, políticas de ciência e crescimento econômico.

Temos, de um lado, o contexto histórico influenciando as abordagens teóricas de inovação, e, de outro, a apropriação social do conceito ligadas em parte às orientações analíticas da academia sobre o tema. A partir deste diagnóstico que encaminhamos uma abordagem das teorias de inovação a partir de perspectiva histórica, relacionando as diferentes formas nas quais o conceito aparece, com as condições sociais nas quais foi produzido.

De maneira geral, esta análise responde também ao propósito maior deste trabalho de pesquisa: propor um modelo de entendimento da inovação em linha com o contexto histórico da sociedade da informação, que evidenciaria insuficiências das matrizes teóricas tradicionais.

Do ponto de vista metodológico, o entendimento de que as teorias são fruto de uma determinada conjunção de condicionantes históricos traduz um entendimento específico acerca da produção científica em ciências sociais. Retomando o conceito de campo científico apresentado por Bourdieu (1983), a produção do conhecimento se torna indissociável da natureza política das relações, com suas “relações de força e monopólios, suas lutas e estratégias, seus interesses e lucros, mas onde todas essas invariantes revestem formas específicas” (BOURDIEU, 1983, pg.122).

Nesse sentido, a tentativa de identificar nas teorias influências dos condicionantes históricos de sua produção constitui um esforço pelo qual buscamos nas condições de produção o sentido daquela interpretação. Trata-se de um tipo de operação metodológica comum no campo da história das ideias - segundo a qual a história do pensamento "não pode ser entendida como algo enciclopédico, uma câmara mortuária dos conteúdos do passado (...), ou um catálogo de mônadas teóricas sem vínculo orgânico com o conjunto de ideias que conformara a questão" (TOLIPAN, 1982, pg. xxxx) . Sobre o estudo da história do pensamento, coloca Ganem:

> Não existe uma autonomização das ideias em que se celebra o gênio desgarrado de sua inserção histórica (...) A histórica econômico-social fornece a referência maior na qual se circunscrevem as ideias. Entretanto, elas são um jogo vivo de saberes, um manancial fértil para novas hipóteses propositoras. (GANEM, 2014, pg.3)

Temos, enfim, a partir da perspectiva da sociologia da ciência de Bourdieu, a possibilidade de avaliar o avanço nas teorias sobre inovação tecnológica a partir das condições de produção destas teorias.

Começamos com as proposições de Marx e Schumpeter, que teriam sido precursores dos estudos em inovação - ainda que em nenhum dos dois casos tenham elaborado uma teoria com ênfase na natureza da inovação.

2 MARX E SCHUMPETER: TEORIAS PRECURSORAS

É sabido que a Revolução Industrial britânica do século XVIII produziu transformações econômicas e sociais profundas, atingindo seu ápice entre 1760 e 1840. Autores como Ashton (1977) e Jacob (1997) colocam no centro deste processo o conjunto de inovações tecnológicas radicais que ocorreram na inglaterra em um curto período de tempo, resultando nas mudanças subsequentes do ordenamento social.

Exemplos de rupturas tecnológicas radicais (ou macroinovações) seriam o processo de transformação do ferro gusa em ferro forjado (ou *puddling process*) por Henry Kart, a máquina de fiar automática de Roberts, o uso extensivo de aço, a locomotiva a vapor e tantas outras. Para nossos propósitos, é importante notarmos que, de modo geral, foram inovações ligadas à indústria, com profundos impactos na produtividade da economia - como mostram as estatísticas de Allen (2009).

Vale destacar que são inovações mais ligadas à formas de saber prático do que científico. Kenneth Arrow (1962) chamará este processo de *learn by doing*, em que a aquisição de conhecimento para a inovação ocorre na experiência prática

acumulada na produção. Alternativamente Nathan Rosenberg (2010) apresenta o conceito de *learn by using*, em que a aquisição de conhecimento ocorre através da interação estreita entre consumidores e técnicos. De todo modo, o aspecto importante que marca as inovações da revolução industrial é a ausência de um esforço sistemático de inovação ligado à ciência e tecnologia. As inovações do século XVIII eram fruto de saber prático acumulado, sendo empreendidas principalmente por religiosos, aristocratas e artesãos.

É à luz da experiência recente da revolução industrial que Marx desenvolve seu trabalho em O Capital - que não só é uma das obras mais importantes no campo da economia política, como também constitui uma das primeiras formulações da variante determinista na análise do desenvolvimento tecnológico.

O determinismo tecnológico seria a orientação analítica em que tecnologia e sociedade formam uma cadeia causal univariante, em que a primeira determina a segunda. Nesse sentido, a inovação tecnológica apresenta dinâmica evolucionista linear, guiada pela força objetiva e livre de intervenção social da eficiência, como coloca Dagnino (2008).

Para Rosenberg (1982), nenhum outro cientista social de importância conferiu tanta relevância à mudança tecnológica como Marx. Segundo ele, Marx teria abandonado a forma tradicional, centralizada na figura do inventor singular, propondo uma abordagem social da tecnologia que incorpora o desenvolvimento tecnológico como um elemento constitutivo das explicações históricas.

O caráter determinista da abordagem marxista reside em seu entendimento do progresso tecnológico enquanto exógeno ao corpo social, evoluindo de modo autônomo a partir de critérios objetivos de eficiência.

> (...) a relação entre tecnologia e sociedade seria unidirecional: enquanto as mudanças sociais são provocadas pelo desenvolvimento tecnológico, este seguiria um processo autônomo, de acordo a seus próprios ditames, como se a tecnologia se desenvolvesse separadamente do âmbito social, como

> uma espécie de fator extrínseco que possui uma dinâmica própria. Em conseqüência, supõem que as características internas das tecnologias atuais determinam os avanços tecnológicos que se seguirão. (DAGNINO, 2008, pg. 33)

O avanço tecnológico na lógica marxista opera como uma espécie de meta da história, em uma sociedade na qual poderia ocorrer o desenvolvimento livre, sem obstruções, progressivo e universal das forças produtivas (MARX, 1857).

Nesse sentido, a separação entre superestrutura e infraestrutura é o ponto fundamental. Na infraestrutura residem as condições materiais para o modelo de produção, isto é, o nível de progresso tecnológico que viabiliza uma forma específica de extração de excedente dos trabalhadores. Residem na infraestrutura social os meios de produção - máquinas, trabalhadores e matérias primas. É a partir das condições da infraestrutura que se desenham as relações de produção características de cada sistema econômico.

Por outro lado, a superestrutura seria o conjunto de instituições e ideologias construídos sobre a infraestrutura. Aqui estão a religião, a cultura, a estrutura político-jurídica, as artes… todas construções das classes dominantes que visam a perpetuação do modelo de exploração determinado pelas forças produtivas na infraestrutura.

> Na produção social de suas vidas, os homens contraem relações definidas que são indispensáveis e independentes de sua vontade, relações de produção que correspondem a uma etapa definida no desenvolvimento de suas forças produtivas materiais. Numa determinada etapa de seu desenvolvimento, as forças produtivas materiais de uma sociedade entram em conflito com as relações de produção existentes ou - o que não é mais que uma expressão legal da mesma coisa - com as relações de propriedade dentro das quais têm estado trabalhando até o momento. De ser formas de desenvolvimento das forças produtivas estas relações se transformam em suas próprias travas (Marx, 1859).

Temos, portanto, que pela lógica marxista a inovação tecnológica está estritamente ligada à infraestrutura. Isto é, um processo exógeno de progresso das forças produtivas cujo critério de evolução é a eficiência. Este avanço, por sua vez, seria capaz de redesenhar as relações de produção por determinar mecânicas distintas

de extração do excedente da classe trabalhadora - processo este que determina a natureza do sistema econômico. Enquanto que a superestrutura é rígida, a influência do progresso tecnológico transforma constantemente a infraestrutura.

Coloca Dagnino (2008) que "(...) dinâmica da história, segundo esta interpretação do marxismo, estaria baseada na idéia de existência de uma contradição dialética entre relações sociais de produção e forças produtivas" (DAGNINO, 2008, pg. 38).

Tendo em vista o contexto histórico da primeira revolução industrial, a análise marxista do progresso tecnológico parece adequada. Como colocamos, as inovações que marcaram rupturas estavam ligadas à produção industrial e à ganhos de eficiência. Além disso, era um processo que ocorria de maneira quase espontânea pelos processos de *learn by doing* e *learn by using*, sem ligação com algum esforço sistemático para inovar. Nada mais natural, portanto, do que uma teoria do progresso tecnológico estritamente ligada às condições de produção. Contudo, vale mencionar que se no contexto de produção serial, em que o consumo estava ligado ao atendimento de necessidades básicas, essa abordagem tem força, conforme avançamos no século XX a importância da diferenciação e de ofertas de valor que transcendam o valor de uso dos produtos nos abrirá para outras perspectivas não mais restritas apenas à oferta.

A visão marxista do avanço tecnológico ligado à produção é talvez a mais importante matriz analítica para as teorias subsequentes relacionadas à inovação. Ainda que a ênfase não recaia estritamente nos determinantes do progresso tecnológico, sua análise foi precursora de importantes modelos, dentre eles o de Joseph Schumpeter.

Para muitos estudiosos da área de ciência, tecnologia e inovação, Schumpeter é considerado o autor seminal no tema, um pioneiro no reconhecimento da inovação enquanto força motora fundamental do capitalismo. Algumas das ideias centrais sobre inovação desenvolvidas por Schumpeter foram da inovação como origem de

mudança econômica (SCHUMPETER, 1928;1942;1947), e da inovação enquanto causa de ciclos econômicos (SCHUMPETER, 1912;1939).

Segundo Schumpeter, entendemos inovação como a introdução de um novo bem, a introdução de um novo método de produção, a abertura de um novo mercado, a conquista de um novo material para a fabricação de um bem, e a implementação de uma nova forma de organização (SCHUMPETER, 1912). Fica evidente o caráter econômico da inovação, que o autor diferencia de invenção. Enquanto que invenção é um ato de criatividade intelectual "sem importância na análise econômica" (SCHUMPETER, 1939, pg.85), inovação constitui a decisão de uma firma aplicar ou adotar uma dada invenção.

Em suma, para Schumpeter a inovação tecnológica constitui uma nova combinação dos meios de produção que, por sua vez, irá gerar um novo produto. O conceito de 'destruição criativa' é central em sua obra, constituindo-se enquanto motor do progresso capitalista e da transformação social.

Se Schumpeter afasta-se das ideias de economia política propostas em O Capital, sua visão tem importantes pontos de contato com a visão marxista no que tange a natureza da inovação tecnológica. Para ambos, a inovação é um fenômeno que nasce na oferta, constituindo-se enquanto fenômeno de natureza econômica fundamentalmente ligado à produtividade. Desenvolvimento tecnológico nada mais seria do que o aprimoramento nos métodos de produção em direção à formas mais produtivas de organização da manufatura.

Contudo, se a teoria marxista adotava postura radicalmente crítica ao capitalismo, na abordagem schumpeteriana a destruição criativa seria uma característica própria do livre mercado.

> The opening up of new markets, foreign or domestic, and the organizational development from the craft shop to such concerns as U.S. Steel illustrate the same process of industrial mutation—if I may use that biological term—that incessantly revolutionizes the economic structure from within,

> incessantly destroying the old one, incessantly creating a new one. This process of Creative Destruction is the essential fact about capitalism. (SCHUMPETER, 1942, p. 83)

Em parte, podemos entender esta postura como fruto de seu tempo. A elaboração de sua principal obra, *The theory of economic development* data de 1912, período de acelerado crescimento econômico do ocidente, marcado pela expansão do advento da energia elétrica, pela criação da indústria automobilística e por um novo salto de produtividade que viria a caracterizar o que ficou conhecido como segunda revolução industrial. Mais uma vez, a teoria parece adequar-se a um momento de efervescência econômica e intensa inovação, ainda que o progresso tecnológico permaneça estritamente ligado às forças de produção.

3. A CONSAGRAÇÃO DO MODELO LINEAR

O modelo linear de inovação tecnológica é provavelmente o mais importante framework de análise do processo de inovação já criado. Isso ocorre não necessariamente pelo seu valor acadêmico, já que muitos como Nathan Rosenberg (2006) declararam o modelo morto ("*everyone knows that the linear model of innovation is dead"*), mas sim por sua imensa importância histórica, orientando políticas de estado e iniciativas do setor produtivo.

A enorme influência do modelo linear talvez se dê por sua força retórica no sentido de justificar investimentos contínuos em ciência básica, bem como ao demonstrar os ganhos econômicos oriundos da inovação. De forma sintética, o modelo descreve o evolver da inovação como um processo contínuo, em que a ciência básica produz ciência aplicada que, por sua vez, resulta em desenvolvimento tecnológico para finalmente atingir o estágio de produção e difusão da nova tecnologia.

Ciência Básica → Ciência Aplicada → Desenvolvimento → Produção e difusão

The imediato, o nome mais associado ao modelo linear é o de Vannevar Bush com o célebre texto *Science: the Endless Frontier* (BUSH, 1945). Não obstante, a

importância de Bush talvez tenha sido muito mais no sentido de consagrar o modelo enquanto orientação para a política de ciência e tecnologia do governo norte-americano do que propriamente de inaugurar uma tradição de pensamento acerca do processo de inovação tecnológico. Segundo Godin (2014):

> Bush talked about causal links between science (namely basic research) and socio-economic progress, but nowhere did he develop a full-length argument based on a sequential process broken down into its elements, or that suggests a mechanism whereby science translates into socioeconomic benefits. (GODIN, 2014; pg.5)

Alternativamente, Godin propõe uma visão histórica do modelo em três etapas: a primeira entre o início do século XX e 1945 centrada no debate sobre ciência básica e ciência aplicada; em seguida os desenvolvimentos ligados aos argumentos de Bush, que congregaram industrialistas e estadistas em torno da fundação do Conselho Nacional de Pesquisa norte-americano (*US National Research Council*); para, enfim, a formalização do modelo linear nas três etapas (pesquisa básica, aplicada, e desenvolvimento).

O debate inicial entre pesquisa básica e pesquisa aplicada ocorre à luz da primeira guerra mundial, que haveria motivado avanços significativos na tecnologia industrial - congregando, com isso, governos e empresas na compreensão do papel da ciência para o desenvolvimento. Essa dicotomia, contudo, já vinha de muito antes. O conceito de uma 'ciência pura' teria se originado no século XVII (COHEN, 1948), utilizado por filosófos para distinguir as ciências que eram motivadas pelo estudo de noções abstratas, e as disciplinas mistas que estariam preocupadas com noções concretas.

Mais a frente, a dicotomia torna-se um recurso retórico utilizado por engenheiros, cientistas e industrialistas com finalidades específicas (GODIN, 2014):

1. Demarcar, definir e controlar sua profissão (excluindo amadores);
2. Buscar suporte financeiro para a ciência;
3. Elevar o status e a importância social da engenharia enquanto disciplina;
4. Atrair cientistas e pesquisadores para o setor industrial.

Contudo, a despeito da oposição dos termos, ciência básica e aplicada já estavam sendo debatidas em cooperação: a ciência básica era a semente a partir da qual pesquisa aplicada poderia crescer. Nesse sentido, na Europa bem como nos Estados Unidos tornava-se comum entre industrialistas o discurso de que a ciências puras eram de valor incalculável para todas as indústrias.

A segunda guerra mundial constitui um ponto de virada na compreensão do papel da ciência. As experiências da alemanha nazista com a câmara de gás, e a explosão das duas bombas atômicas norte-americanas em Hiroshima e Nagasaki constituem uma estarrecedora visão do poder devastador que o avanço científico pode produzir. A ciência converte-se em arena de disputa geopolítica, constituindo uma questão de soberania do Estado.

Nesse sentido, a carta de Vannevar Bush para Roosevelt é um dos documentos mais importantes para a constituição dos sistemas públicos de incentivo à ciência, tecnologia e inovação. À luz dos eventos da segunda guerra, Bush sugere a criação da *National Research Foundation* para o suporte à ciência básica em uma base regular. A retórica subjacente ao discurso de Bush está inteiramente ancorada nas suposições do modelo linear, adicionando ênfase aos benefícios socioeconômicos da ciência.

> Advances in science when put to practical use mean more jobs, higher wages, shorter hours, more abundant crops, more leisure for recreation, for study, for learning how to live the deadening drudgery which has been the burden of the common man for past ages. Advances in science will also bring higher standards of living, will lead to the prevention or cure of diseases, will promote conservation of our limited resources, and will assure means of defense against aggression. (...) Without scientific progress no

> amount of achievement in other directions can insure our health, prosperity, and security as a nation in the modern world (BUSH, 1945, pg.10-11)

Nesse sentido, o modelo linear de inovação constitui o mecanismo pelo qual o avanço científico se traduz em progresso socioeconômico. Bush diferenciava a pesquisa básica que "performed without thought of practical ends" e resultava em "general knowledge and an understanding of nature and its laws" (BUSH, 1945, pg.18). O modelo linear entrava explicitando a relação entre as duas, em afirma claramente que o formidável avanço industrial vivido pelos Estados Unidos no início do século iria estagnar se a pesquisa básica fosse negligenciada, já que na ciência básica reside a resposta para problemas práticos importantes (BUSH, 1945). O mecanismo exato de transmissão desses saberes da ciência básica é descrito por Bush.

> Basic research (...) creates the fund from which the practical applications of knowledge must be drawn. New products and new processes do not appear full-grown. They are founded on new principles and new conceptions, which in turn are painstakingly develop by research in the purest realms of science. Today, it is truer than ever that basic research is the pacemaker of technological progress (BUSH, 1945, pg.19)

É dessa forma que o documento de Bush estabelece as bases para o investimento contínuo do Estado em ciência básica. Seu uso do modelo linear de inovação, portanto, teria fundamentado esforços da sociedade para a formação dos chamados *Sistemas Nacionais de Inovação*, que constituem configurações institucionais do poder público e privado no sentido de incentivar a inovação.

4. A INOVAÇÃO ENQUANTO SISTEMA

A carta de Vannevar Bush é um marco em diversos sentidos, inaugurando um período em que a inovação torna-se questão central, destacando-se especialmente na política e na academia.

Para governos, o modelo linear transforma a inovação tecnológica em questão de Estado, motivando a criação de agências e políticas que buscam incentivar boas

práticas de inovação. Temos a fundação da *National Science Foundation* em 1950, responsável por parte significativa do financiamento público para ciência e tecnologia. Na esteira da NSF, ocorre em 1951 a fundação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) no Brasil, que exibe a extensão dos impactos promovidos pelas ideias de Bush.

Na academia, começa a se configurar um novo campo de investigação científica, preocupado com os fatores que motivam a inovação, e seus impactos no progresso da sociedade. Economistas passam a se mobilizar para compreender a relação entre transformação tecnológica e desenvolvimento econômico, uma tradição inaugurada com Schumpeter (1912) mas resgatada com a teoria do crescimento e da acumulação de capital de Robert Solow (1956). Contudo, a economia estaria ainda muito mais interessada nos usos da inovação do que nas condições em que ela é produzida. Essa lacuna viria a ser preenchida por Christopher Freeman.

Para Freeman, a centralidade da inovação tecnológica na sociedade moderna motivou o estudo do **sistema** por trás do fenômeno, e não apenas suas consequências. Segundo o entendimento do autor, "technological innovation is an essential condition of economic progress and a critical element in the competitive struggle of enterprises and of nation-states" (FREEMAN, 1974, pg.15). O desenvolvimento de sistemas de inovação estaria caracterizado por complexidade crescente, aumento na escala dos processos e especialização da pesquisa (FREEMAN, 1974), elementos fundamentais no que o autor chama de institucionalização dos esforços de inovação.

O trabalho pioneiro de Freeman está, em grande parte, associado a um momento do século XX em que cresce a economia intensiva em pesquisa. Isto é, diante da percepção evidente dos ganhos econômicos e políticos produzidos pelo avanço tecnológico, tomando-se como fundo o modelo linear, empresas e governos passam a empreender esforços conjuntos no sentido de fomentar a atividade científica para alavancar inovação e, consequentemente, o crescimento econômico.

> Be that as it may, to Freeman the twentieth century is the growth period of the "research intensive sector" and saw the rise of a "research-intensive economy": "the balance has gradually shifted towards a more research-intensive economy, and a higher rate of technical change. It is the contention of this book that this is one of the most important changes in twentieth-century industry" (Freeman, 1974: 277). To the increase in scale and "professionalization", Freeman adds the idea that technology relies increasingly on science, giving rise to what Freeman called "science-related technologies". (GODIN, 2010, pg.9)

É assim que Freeman inaugura a tradição dos sistemas de inovação, uma abordagem que investiga o que está por trás da inovação e da transformação tecnológica. Para o autor, invenção e inovação aparecem nos modelos econômicos como variáveis exógenas que, se possuem grande importância, não são devidamente explicados. A abordagem dos sistemas, por outro lado, trará ênfase nos arranjos específicos entre componentes que produzem a inovação.

Edquist (2005) organiza a abordagem dos sistemas de inovação iniciada em Freeman. Não trata a inovação tecnológica como um processo que ocorre individualmente nas firmas, mas em colaboração com outras organizações como universidades e agências governamentais. Nesse sentido, organizações e instituições seriam os componentes do sistema para criação e comercialização de conhecimento. Procedemos com algumas definições operacionais apresentadas por Edquist (2005) que auxiliam a compreensão do modelo:

- Sistema de Inovação (SI): os determinantes do processo de inovação. Isto é, todos os fatores econômicos, sociais, políticos, institucionais e organizacionais que influenciam o desenvolvimento, difusão e uso de inovações;
- Constituintes de um SI: Componentes + relações entre os componentes; componentes principais são organizações e instituições;
- Organizações: estruturas formais conscientemente criadas com propósitos específicos;

- Instituições: conjunto de hábitos, normas, rotinas, práticas estabelecidas, regras e leis que regulam as relações e interações entre os atores do sistemas; foram definidas em North (1970) como as "regras do jogo".

A abordagem dos SIs, portanto, busca compreender o conjunto de interações complexas entre os componentes que irão alavancar processos de inovação. Tais interações, por sua vez, ocorrem segundo um conjunto de incentivos determinados pelas instituições.

Caracterizam ainda os estudos dos sistemas de inovação: ênfase nos processos de aprendizado e produção de conhecimento, o caráter holístico e interdisciplinar, a compreensão da natureza não linear da inovação e o trabalho com o papel das instituições no processo de inovação.

5 RUPTURAS COM O MODELO LINEAR

O avanço da visão sistêmica da inovação colocou mais e mais a teoria linear apresentada por Vannevar Bush em cheque. Ficava evidente que a transformação tecnológica não ocorria em processo unidirecional entre ciência de base, ciência aplicada e desenvolvimento tecnológico, mas sim através de um conjunto complexo de interações entre agentes do setor produtivo, da academia e do governo, que conjuntamente empreendem esforços na conversão de novos conhecimentos em soluções tecnológicas para melhorias de produtos e processos.

Stokes (2005), Rosenberg (2006) e Narayanamurti (2013) tratam da natureza problemática do modelo linear e de sua hegemonia. Narayanamurti propõe que a inovação resulta de um ciclo constante de interação entre descoberta e invenção, em que um não necessariamente precede o outro.

A noção de ciclo de inovação entende descoberta como a criação de novos conhecimentos e fatos sobre o mundo, enquanto que invenção seria a acumulação e criação de conhecimento que resulta em uma nova ferramenta, dispositivo ou

processo. Nesse sentido, da interação entre estas duas instâncias resultaria a inovação. Narayanamurti argumenta que o grande ponto do ciclo de inovação é o horizonte temporal. Isto é, tendo em vista o distanciamento temporal significativo entre descoberta e inovação, devemos pensar sistemas de inovação que garantam a adequada circulação do conhecimento ao longo do ciclo. Nesse sentido, não possuem importância apenas a pesquisa e sua aplicação, mas principalmente os fluxos de informação - abordagem esta que adquire ainda mais sentido com a formação da sociedade da informação, como veremos no capítulo 3.

Em abordagem ainda mais radical temos Bryan Arthur em *The Nature of technology: what it is and how it Evolves* (2011), que constitui um ponto de inflexão no estudo sobre a evolução da tecnologia. A proposta de Arthur não é avaliar uma dada relação entre sociedade e tecnologia, nem tampouco avaliar princípios de desenvolvimento tecnológico. É, sim, buscar alguns princípios que caracterizam as tecnologias, buscando alguma lógica comum que estrutura a tecnologia e orienta o seu progresso.

Buscando uma definição inicial para tecnologia, chega a três proposições possíveis:

1. Tecnologia como um meio para atingirmos propósitos bem definidos;
2. Tecnologia como um conjunto de práticas e componentes;
3. Tecnologia como um conjunto de aparelhos e práticas de engenharia disponíveis para a sociedade.

O que fica claro é que, independente da definição, a tecnologia constitui um meio para um fim. Ela oferece uma funcionalidade que, por sua vez, ocorre através do processamento por um aparelho. De maneira esquemática, podemos definir:

- Processos: sequências de operações;
- Equipamentos: parte que executa as operações;
- Processos + Equipamentos = *devices*

Trata-se de uma taxonomia básica que permite Arthur separar as tecnologias em seus componentes para buscar o que há de comum entre elas. Isto é, qual é a

estrutura que orienta o progresso tecnológico. O autor define esta estrutura a partir de três princípios:

Princípio Combinatório: toda tecnologia é estruturada a partir de um conjunto de componentes com razoável autonomia que são ordenadas segundo um princípio central estruturante (*backbone*). Ao redor dele, estão dispostos subsistemas que interagem para garantir seu funcionamento.

Por este princípio, toda tecnologia apresenta unidades funcionais compartimentadas, cada qual exercendo uma função para garantir o funcionamento do todo. Indo do macro para o micro, um dispositivo tecnológico estaria estruturado em:

Arranjos → Sistemas → Subsistemas → Partes Individuais

A natureza combinatória da tecnologia seria originada pelas vantagens oferecidas por esse tipo de organização. Aparelho compartimentados estariam mais protegidos contra choques, já que um problema em uma parte não necessariamente danifica o todo; e permitem aprimoramentos e reparos com mais facilidade, já que modificações podem ser feitas independentemente em cada lócus.

Princípio Recursivo: A recursividade constitui a noção de que cada subcomponente de um sistema espelha a estrutura total. No caso da tecnologia, isso significa que cada subsistema é em si uma forma própria de tecnologia, de modo que as tecnologias operam em níveis. Cada nível, por sua vez, compartilha organizações análogas, sendo composto por sistemas e subsistemas auxiliares que operam em lógica recursiva.

Isto significa dizer que cada componente de uma dada tecnologia possui também um backbone, e subsistemas que auxiliam a funcionalidade principal - lógica esta que se replica até as partes individuais. Nesse sentido, o progresso tecnológico

muitas vezes é a incorporação de tecnologias de nível superior a estruturas maiores, em que estas se tornam auxiliares.

Princípio da captura de fenômenos: Toda tecnologia teria em seu núcleo algum efeito natural ou físico do qual fazemos uso - isto é, um fenômeno. De maneira geral, estes fenômenos não podem ser explorados pelo interesse humano em seu estado natural. Com isso, a base de uma tecnologia é a captura e exploração de fenômenos naturais para um dado fim. Trata-se, portanto, de um processo de interação entre subsistemas capturando diferentes fenômenos.

Estes três princípios operam na taxonomia de todo apetrecho tecnológico. A questão que resta é saber qual o papel da ciência na interpretação de Bryan Arthur acerca do desenvolvimento tecnológico.

A relação entre ciência e tecnologias apresenta lógica circular. De um lado, os avanços científicos são responsáveis pela descoberta de novos fenômenos passíveis de captura. De outro, com novas tecnologias temos novas vias para capturar fenômenos anteriormente inacessíveis, o que constitui condição para o contínuo avanço científico. O campo da ciência aplicada, portanto, compreende a acumulação de técnicas e métodos sistemáticos que viabilizam novas vias para a captura de fenômenos.

Esta circularidade da relação entre ciência e tecnologia é o que dá o tom da teoria de Bryan Arthur do progresso tecnológico. Conforme a ciência nos dá conhecimento para entender a lógica invisível que ordena a natureza (tornando seus efeitos previsíveis), somos mais e mais capazes de pensar vias de capturar tais fenômenos para a produção de novas tecnologias que, por sua vez, viabilizam a descoberta de novos fenômenos.

6 O SENTIDO GERAL DAS TEORIAS DE INOVAÇÃO

Com esta revisão histórica, pretendemos apresentar duas hipóteses.

A primeira hipótese é de que as teorias que explicam as origens da inovação e do progresso tecnológico estão diretamente ligadas a aspectos contextuais do momento histórico em que foram produzidas (ou seja, das condições de produção de cada teoria).

Esta hipótese está em linha com os princípios de história das ideias apresentados anteriormente, e é resumida no quadro que segue:

TEORIA	**CONDICIONANTES HISTÓRICOS**	**ELEMENTOS HISTÓRICOS DA TEORIA**
Marx: *Meta da história*	● 1a Revolução Industrial; ● Learn by doing; ● Inovações na produção (energia a vapor, aço, tear mecânico)	● Tecnologia avança como força espontânea natural do progresso; ● Determinismo tecnológico e neutralidade da técnica. ● Inovação na Infraestrutura.
Schumpeter: *Destruição Criativa*	● 2a Revolução Industrial ● Learn by using; ● Inovações na produção (energia elétrica, automóvel) ● Bonança econômica dos EUA e maturidade do setor financeiro; ● Ausência de esforços sistemáticos em Ciência e tecnologia.	● Tecnologia como motor do progresso econômico a partir do conceito de destruição criativa; ● Inovação enquanto fenômeno aleatório estritamente ligado à dinâmica da produção industrial e da oferta de novos bens.
Vannevar Bush: *Modelo Linear*	● Fim da Segunda Guerra Mundial; ● Experiências recentes do projeto Manhattan, e explosão das bombas atômicas; ● Roosevelt inicia o *new deal* nos EUA.	● Proposta do *Modelo Linear de Inovação*, que relaciona ciência básica → Ciência Aplicada → Inovação; ● Inovação enquanto questão de poder geopolítico e condição para a prosperidade; ● Necessidade de investimentos contínuos em ciência básica.

Freeman e Edquist: *Sistemas de Inovação*	• Criação do *National Science Foundation* nos EUA, e formação inicial do sistema nacional de inovação norte americano; • Início da Guerra Fria e da corrida tecnológica entre as duas superpotências;	• Inauguração da tradição de pesquisa acadêmica na área de estudos de inovação; • Modelo dos Sistemas de Inovação, fundados na visão integrada de organizações e instituições em arranjos que produzam inovação
Nayaranamurti e Vannevar Bush: *Ciclo Descoberta Invenção*	• Aumento significativo da quantidade de inovações tecnológicas nos EUA; • Apogeu do sistema nacional de inovação norte-americano; • Início da Microeletrônica e da computação.	• Críticas a Vannevar Bush e ruptura com o *Modelo Linear;* • Modelo com base no ciclo inovação-descoberta; • Problema intertemporal da inovação tecnológica, e a relação complexa entre ciência e inovação;

Tabela 2.1: Fonte - Elaborada pelo autor

A segunda hipótese é de que todas as matrizes teóricas aqui apresentadas sustentam um modelo de inovação estritamente ligado à produção industrial. Isto é, a inovação constitui em todas estas abordagens um fenômeno de natureza econômica, e não sócio-cultural. Nesse sentido, o desenvolvimento tecnológico é abordado quase que estritamente enquanto um conjunto de rupturas que promovem aumento de produtividade.

Podemos ver isso, por exemplo, na noção marxista de inovação como fenômeno da infraestrutura; no conceito de 'destruição criativa' associado a novos processos produtivos que alavancam o crescimento econômico; ou mesmo na noção de inovação relacionada à captura de um novo fenômeno natural apresentada por Bryan Arthur.

Este diagnóstico nos leva à terceira hipótese: de que transformações históricas iniciadas na década de 1980 teriam mudado a natureza da inovação tecnológica, fazendo com que as matrizes teóricas apresentadas sejam insuficientes para compreendermos os processos contemporâneos de inovação.

Nesse sentido, a inovação deixa de estar estritamente ligada à produtividade da manufatura, compreendendo também tecnologias cuja ênfase reside nas relações entre os usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ADORNO, T; HORKHEIMER, Max. Dialética do Esclarecimento. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1985.

AJZEN, I. The Theory of Planned Behavior. Organization Behavior and Human Decision Processes, Academic Press, Inc. 179-211, 1991.

ALLEN,R. The British Industrial Revolution in global perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

ANDRUSCHENKO, M. Evolutionary Dynamics of Technological Transitions in the Presence of Network Effects. Phd Thesis, Orientador: Prof. Luciano Andreoz, University of Trento. 2013

ARBIX, G. Inovar ou Inovar: a indústria brasileira entre o passado e o futuro. 1a edição, São Paulo: Editora Papagaio, 2007.

ARIDA, P. A História do pensamento econômico como teoria e retórica. In Rego, José Marcio (org.) Retórica na Economia. São Paulo: Editora 34, 1996.

ARROW, K. The Economic Implications of Learning by Doing. The Review of Economic Studies, Vol. 29, No. 3 (Jun., 1962)

ARTHUR, B. Positive feedbacks in the economy. Scientific American, pages 92–99, 1990

ARTHUR, B. The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves, NY: Freepress, 2011

ASHTON, T.S. A Revolução Industrial. Lisboa: Publicações Europa-América, 1977.

BACCEGA, Maria Aparecida. Comunicação e Linguagem: discursos e ciência. São Paulo: Moderna, 1998.

BANERJEE, A.V. A Simple Model of Herd Behavior. The Quarterly Journal of Economics, 107, 797-819, 1992

BARABASI, A.L. Network Science. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 2016

BARABASI, A.L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. Science, v. 286, n. 5439, p. 509–512, oct 1999.

BENTHAM, Jeremy (1780). An introduction to the principles of morals and legislation. Nova York: Pegasus, 1989,

LEE, T.B. A framework for web science. Foundations and Trends in Web Science 1(1): 1–130. 2006

BIANCONI, G.; BARABASI, A.L. Bose-Einstein condensation in complex networks. Phys Rev Lett, v. 86, n. 24, p. 5632–5635, jun 2001

BOURDIEU, Pierre et al. Ofício de sociólogo. Petrópolis: vozes, p.9-22 e 87-97. 1999.

BOURDIEU, Pierre. Esboço de auto-análise. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

BUSH, V. (1945), Science: The Endless Frontier, North Stratford: Ayer Co., 1995.

CHWE, M.S. Communication and coordination in social networks. Review of Economic Studies, 67:1–16, 2000.

CHWE, M.S. Rational Ritual: Culture, Coordination, and Common Knowledge. Princeton University Press, 2001

COHEN, I.B (1948). Science Servant of Men, Boston: Little, Brown and Co., p. 56.
DAGNINO, R. Neutralidade da Ciência e Determinismo Tecnológico: Um Debate Sobre a Tecnociência. Campinas: Editora Unicamp, 2008.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319-340.

Davis, F.D. (1986). A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results. Massachusetts, United States: Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.

EASLEY, D. & KLEINBERG, J. Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World. Cambridge University Press, 2010

EDQUIST, C. Systems of Innovation. Perspectives and Challenges. In Jan Fagerberg, David Mowery & Richard Nelson, Innovation Studies. Evolution and Future Changes. Oxford: Oxford Un Press, 2005

FARRELL, J. Converters, Compatibility, and the Control of Interfaces. Journal of Industrial Economics, Wiley Blackwell, vol. 40(1), pp. 9-35. 2011

FISHBEIN, M., AJZEN, I. Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research. Reading, Mass; Don Mills, Ontario: Addison-Wesley Pub. 1975

FREEMAN, C. The Economics of Industrial Innovation, Harmondsworth: Penguin Books, 1974.

FRIEDMAN, M. Essays in Positive Economics, Chicago. Description and preview, including "The Methodology...,pp. 3-34. 1953

FUCHS, C. From Digital Positivism and Administrative Big Data Analytics Towards Critical Digital and Social Media Research! European Journal of Communication 32 (1): 37-49. 2017

GANEM, A. Reflexões sobre a história do pensamento econômico brasileiro. Análise Econômica, Porto Alegre, ano 29, n.56, pag 131-152, 2011.

GODIN, B. In the Shadow of Schumpeter: W. Rupert Maclaurin and the Study of Technological Innovation, Paper no. 2, Project on the Intellectual History of Innovation. Published in Minerva, vol. 46 no 3, 2008.

GODIN, B. Innovation: the History of a Category, Working Paper No. 1, Project on the Intellectual History of Innovation, Montreal: INRS, 2008.

GODIN, B. The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework, reprinted in Recent Developments In The Economics Of Science And Innovation, Edward Elgar, 2014.

HUME, David. An Enquiry concerning Human Understanding. Oxford University Press, Nova York, Estados Unidos, 2007.

HUNT, Emery Kay. História do Pensamento Econômico: Uma perspectiva Crítica; 2a edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

Jacob, Margaret. Scientific culture and the making of industrial West. Oxford: Oxford University Press, 1997.

JEVONS, S. The Theory of political economy. Nova York: Reprints of Economic Classics, 1965.

KATZ, L. & SHAPIRO, C. Network externalities: competition, and compatibility. American Economic Review, 75(3):424–440, 1985

KUHN, T. S. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Editora Perspectiva, 1994.

LAI, Pc. The literature review of technology adoption models and theories for the novelty technology. JISTEM, Brazil Vol. 14, No. 1, Jan/Apr., 2017 pp. 21-38.

LAKATOS, I. Falsificação e metodologia dos programas de investigação científica. Trad. E.P.T.M. Mendes. Lisboa: Edições 70, 1999.

LATOUR, B. Ciência em Ação. São Paulo: Editora Unesp, 1998.

_____. Resembling the social: an introduction to actor-network theory. Oxford: Oxford University Press, 2007.

Leonard R.,1994, "Reading Cournot, reading Nash: The creation and stabilization of the Nash equilibrium", Economic Journal 104, 492-511.

LÉVY, Pierre. As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática. São Paulo: Editora 34, 1993.

LIU, Bing. Sentiment analysis and opinion mining. Synthesis Lectures on Human Language Technologies, Vol.5, No. 1, pgs.1-164: Graeme Hirst, 2012.

MALINI, F. Um Método perspectivista de Análise de Redes Sociais: cartografando topologias e temporalidades em rede. In: XXV Compós, 2016, Goiânia. 25o. Goiânia: UFG, 2016

Manovich, Lev (2018): 100 Billion Data Rows per Second: Media Analytics in the Early 21st Century. In: International Journal of Communication 12 (2018): pp. 473–488

MARSHALL, Alfred (1920). Princípios de economia. Vol I, livro 4. São Paulo: Nova Cultural, 1982

MARTINS, Gilberto de Andrade; THEÓPHILO, Carlos Renato. Metodologia da investigação científica para Ciências Sociais Aplicadas. 2a edição. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

MARX, K. [1857] Introdução [À Crítica da Economia Política] e Prefácio Para a Crítica da Economia Política. In: Manuscritos Econômico-Filosóficos e Outros Textos Escolhidos. Coleção os Pensadores. São Paulo, Abril Cultural, 1974.

MARX, K. Capital y Tecnologia. Manuscritos de 1861-1863. México: Ed. Terra Nova, 1980.

MARX, K. Miséria da Filosofia. São Paulo: Livraria exposição do livro, 1966.* Marx prólogo da crítica da eco política, 1859

MARX, K. O Capital. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1996. Vol I e II.

McLUHAN, Marshall. Galáxia de Gutemberg. São Paulo: Editora Nacional,1977

MICHELA, D.V; ZOLLO, F.; CALDARELLI, G; ANTONI, S; QUATTROCIOCCHI, W. Mapping Social Dynamics on Facebook: The Brexit Debate. Social Networks Journal, 2017

NARAYANAMURTI, V; ODUMOSU, T; LEE. RIP: The Basic/Applied Research Dichotomy. Issues in Science and Technology Vol 29, no. 2 , 2013.

NAYEBI, F; DESHARNAIS, JM; ABRAN, A. The state of the art of mobile application usability evaluation. Electrical & Computer Engineering (CCECE), 2012 25th. 2012

NORTH, D; THOMAS, Paul. An economic theory of the growth of the Western world. Economic History Review. 23, 1970.

PIEDRAHITA, P. HOLTHOEFER, J. The Contagion Effects of Repeated Activation in Social Networks. Social Networks. 10.1016/j.socnet, 2017

POPPER, K. R. A Lógica da pesquisa cientifica. Tradução de Leonidas Hegenberg e Ocatnny Silveira da Mota. São Paulo: Editora Cultrix, 1975.

Prado, E; Kadota, D. (2003) Survival of technologies: an evolutionary game approach.

RECUERO, R; ZAGO, G; SOARES, B. Mídia Social e Filtros-bolha nas conversações políticas no Twitter .In: XXVI COMPÓS, 2017, São Paulo. Anais da XXVI COMPÓS: SÃO PAULO/SP, 2017. v. 1. p. 1-27.

RECUERO, RI; GRUZD, A. Cascatas de ?Fake News? Políticas: Um estudo de caso no Twitter. GALÁXIA (PUCSP), v. 41, p. 31-47, 2019.

RILEY, Jenn. Understanding Metadata: what is metadata and what is it for? Baltimore: Niso Primer, 2017.

ROBBINS, Lionel. An essay on the nature and significance of the economic science. Londres: Macmilan and co, 1945.

RODRIK, D. Economics Rules: The Rights and Wrongs of the Dismal Science, W.W. Norton, New York, 2015

ROGERS, E. Diffusion of Innovations. Free Press, fourth edition, 1995
ROSENBERG, Nathan. Por dentro da caixa-preta: tecnologia e economia. Tradutor:José Emílio Maiorino – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2006

SCHIEFINNELA, R.L. An image is worth more than a thousand favorites: Surfacing the hidden beauty of Flickr pictures..2015

SCHUMPETER, J. The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle, Cambridge: Harvard University Press.1912

SCHUMPETER, J. The Instability of Capitalism, The Economic Journal, September, pp. 361-386. 1928

SCHUMPETER, J. , Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process, New York: McGraw-Hill. 1939

SCHUMPETER, J. Capitalism, Socialism and Democracy, New York: Harper, 1962. 1942

SCHUMPETER, J. The Creative Response in Economic History Journal of Economic History, November, pp. 149-159. 1947

SHAPIRO, C. & VARIAN, C. Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy. Harvard Business School Press, 1998.

SMITH, Adam (1776). A riqueza das nações. São Paulo: Abril Cultural, 1983

SOLOW, R. A Contribution to the Theory of Economic Growth. The Quarterly Journal of Economics, Vol 70, nº 1 (Feb 1956), pp 65-95

STOKES, D. O Quadrante de Pasteur. A Ciência Básica e a Inovação Tecnológica. Campinas: Editora Unicamp, 2005

TADELIS, S. Game Theory: An Introduction. Princeton University Press, 2012.

TAYLOR, P. and JONKER, L. Evolutionarily Stable Strategies and Game Dynamics, Mathematical Biosciences Volume 40, Issues 1–2, pp. 145–156, 1978

VENKATESH, V., MORRIS, M.G., DAVIS, F.D. User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. MIS Quarterly, 27, 425-478. 2012

WIBULL J., Evolutionary Game Theory, MIT Press, Cambridge USA. 1994

WELCH, I. Sequential sales, learning and cascades. Journal of Finance, 47:695–732, 1992