

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**O SISTEMA ECONÔMICO SOB A PERSPECTIVA DA
CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE**

PABLO DE SOUZA RATTI
matrícula nº: 114080005

ORIENTADOR(A): Prof. João L. S. P. de Souza Pondé

JULHO 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

O SISTEMA ECONÔMICO SOB A PERSPECTIVA DA CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE

PABLO DE SOUZA RATTI
matrícula nº: 114080005

ORIENTADOR(A): Prof. João L. S. P. de Souza Pondé

Julho 2019

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(a) autor(a)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que participaram de alguma forma no meu desenvolvimento humano, social e intelectual. Em especial, gostaria de agradecer todos os membros da minha família de sangue, que apesar da distância sempre estiveram ao meu lado me ajudando de todas as formas possíveis, e a minha família de amigos que conheci aqui no Rio de Janeiro, sem eles teria sido muito mais difícil aguentar as exigências e as dificuldades encontradas na vida acadêmica.

Os mais sinceros agradecimentos ao meu orientador e conterrâneo João Pondé, pelas conversas e dedicação, sem sua ajuda jamais conseguiria ter elaborado este trabalho. Ao meu pai, que me acompanhou nos últimos meses de desenvolvimento deste trabalho. Ao meu amigo Gabriel pelas longas conversas sobre um assunto que não queria ouvir naqueles momentos. Ao meu irmão de pais diferentes, Hutayberson, por me proporcionar os momentos mais engraçados e ao mesmo tempo longa reflexão. A minha irmã pela revisão e comentários sobre este trabalho e toda sua dedicação. A Júlia, minha querida companheira que sempre me apoiou em todos os momentos mais tristes e cansativos da elaboração deste trabalho e da vida acadêmica.

RESUMO

O paradigma redutor estabeleceu a descrição mecânica do universo como a metodologia científica a ser seguida. Isto influenciou fortemente o posterior desenvolvimento de diversos campos de conhecimento. No entanto, após descobertas ao longo do século XIX e início do século XX, a universalidade deste método é posta em dúvida. É nesse contexto que surge a antítese do paradigma redutor, a ciência da complexidade.

A abordagem neoclássica, desde as suas origens na Revolução Marginalista, adotou o paradigma redutor. Apesar de ter sido fundamental para o estabelecimento do pensamento econômico como ciência, tal abordagem se mostra inadequada para investigar a dinâmica do sistema econômico, devido a seu comprometimento com o pressuposto de que as interações entre os agentes geram necessariamente uma convergência para um estado de equilíbrio. Assim como a ciência da complexidade representa a antítese do paradigma redutor, a economia da complexidade representa a antítese da abordagem marginalista. O objetivo da abordagem complexa é investigar os processos e emergências do sistema econômico, característicos de sistemas que operam fora do estado de equilíbrio.

Após discutir o desenvolvimento de uma abordagem da complexidade da ciência econômica, esta monografia faz uma discussão de modelos que analisam as propriedades emergentes da dinâmica alocativa sob retornos crescentes: (i) existência de múltiplos equilíbrios; (ii) possíveis ineficiências, (iii) *lock-in*; (iv) *path dependence*). Finalizando, são apontadas suas implicações metodológicas para a crítica da abordagem marginalista/neoclássica..

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 08 |
| CAPÍTULO I - A CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE | 11 |
| I.1 - O PARADIGMA REDUTOR..... | 11 |
| I.2 - O QUE É A CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE..... | 14 |
| I.3 - SISTEMAS, AUTO ORGANIZAÇÃO E EMERGÊNCIA..... | 16 |
| I.4 - NÃO LINEARIDADE, CAOS E FEEDBACK..... | 19 |
| I.5 - ESTRUTURAS DISSIPATIVAS, AUTOPOIESE E EVOLUÇÃO..... | 22 |
| CAPÍTULO II - A ECONOMIA DA COMPLEXIDADE | 26 |
| II.1 - O PARADIGMA REDUTOR NA CIÊNCIA ECONÔMICA..... | 27 |
| II.2 - A ECONOMIA DA COMPLEXIDADE..... | 28 |
| <i>II.2.1 - A perspectiva de emergência e processo</i> | 30 |
| II.3 - A DINÂMICA ECONÔMICA SOB A PERSPECTIVA DE EMERGÊNCIA E PROCESSOS..... | 32 |
| <i>II.3.1 - O papel da incerteza no desequilíbrio</i> | 32 |
| <i>II.3.2 - O papel da inovação no desequilíbrio</i> | 34 |
| II.4 - A CARACTERÍSTICA AUTO-REFORÇADORA DAS INTERAÇÕES ENTRE AGENTES E O SISTEMA ECONÔMICO..... | 35 |
| CAPÍTULO III - PATH DEPENDENCE, LOCK-IN E SUAS IMPLICAÇÕES METODOLÓGICAS | 37 |
| III.1 - AS PROPRIEDADES EMERGENTES DA DINÂMICA ALOCATIVA SOB RETORNOS CRESCENTES..... | 38 |
| III.2 - A GUERRA DOS FORMATOS: BETAMAX vs VHS..... | 40 |
| III.3 - PATH DEPENDENCE, LOCK-IN E SUAS IMPLICAÇÕES METODOLÓGICAS..... | 41 |
| OBSERVAÇÕES FINAIS | 46 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 48 |

INTRODUÇÃO

A revolução científica ocorrida entre os séculos XVI e XVII resultou na emergência do método cartesiano-newtoniano, que se consolidou como o paradigma dominante, no sentido dado por Thomas Kuhn (1991), tanto na metodologia científica quanto na visão de mundo. A descrição do universo oriunda deste paradigma é comumente associado com o funcionamento de um relógio, metáfora preferida de Rene Descartes. Neste sentido, o universo é descrito como uma máquina simples que opera em de acordo com leis mecânicas deterministas, onde tudo no mundo material pode ser explicado por meio da organização e do movimento de seus componentes. Aqui a história é uma mera transportadora do inevitável, pois o futuro é apenas uma reprodução do presente. O sistema é ergódico. Em outras palavras, o sistema opera em equilíbrio, o que segundo ,o físico e ecólogo, Fritjof Capra (1996) é a característica de um sistema morto.

A teoria da evolução das espécies, ainda no século XIX, a teoria da relatividade e a descoberta da possibilidade de comportamento caótico em sistemas deterministas, na primeira metade do século XX, puseram em dúvida a capacidade de análise geral prometida pelo método cartesiano-newtoniano. É neste contexto, sob influência da biologia organísmica¹, teoria dos sistemas (BERTALANFFY, 1968), cibernética (WIENER, 1948) e dos avanços da física em relação ao estudo da dinâmica não-linear, que surge a ciência da complexidade, uma “antítese” (MORIN, 2011, p. 57) do paradigma redutor. A ciência da complexidade busca explicar como um grande número de agente heterogêneos se organiza, sem a necessidade de um controle central, em um “todo” coletivo criador de padrões, com a capacidade de computar informações, evoluir e aprender (HOLLAND, 2013).

O paradigma redutor exerceu forte influência sobre o pensamento econômico, sendo inclusive a razão pela qual deixou de ser economia política para tornar-se ciência econômica². O resultado disso foi a interpretação da economia como um sistema mecânico e previsível, que opera sob leis deterministas, representada por retornos decrescentes, responsáveis por estabilizar qualquer flutuação. Assim como no universo newtoniano, a história não tem um papel relevante na metodologia marginalista. Desta forma, a economia opera em um estado de equilíbrio, sem possibilidade de adaptação dos agentes, fechado para relação com ambiente em que está inserido.

Da mesma forma que a ciência da complexidade surge como uma antítese do paradigma redutor, a economia da complexidade surge como uma antítese da abordagem marginalista.

¹ Ramo da biologia que estuda a organização dos seres vivos.

² Essa mudança de abordagem não será abordada neste texto.

Iniciada pelos trabalhos pioneiros de W.B. Arthur (1987) (1989)³ e consolidada com a criação de um programa de pesquisa no Santa Fe Institute, referência em ciência da complexidade, a economia da complexidade interpreta o sistema econômico como um sistema complexo adaptativo apresenta. São seis, as características marcantes que emergem dessa interpretação (i) interação dispersa entre agentes heterogêneos; (ii) ausência de controle central universal; (iii) organização hierárquica transversal; (iv) adaptação contínua; (v) inovação perpétua; (vi) dinâmica fora do equilíbrio (ARTHUR, 1997).

Arthur (1994) desenvolveu uma série de trabalhos para analisar a dinâmica alocativa sob retornos crescentes, análise que só pode ser feita sob referencial teórico da economia da complexidade. Ele constatou que processo alocativos com essa característica apresentam quatro propriedades emergentes, duas que já eram conhecidas (i) existência de múltiplos equilíbrios; (ii) possível ineficiência, e duas novas (iii) *lock-in* ; (iv) *path dependence*. Tais propriedades, principalmente as últimas duas, resultam em serias consequências metodológicas para a abordagem marginalista.

Esta monografia busca apresentar algumas contribuições da abordagem da complexidade para a ciência econômica, com destaque para as contribuições de Brian Arthur. A discussão realizada está dividida em três capítulos, além desta Introdução e das Observações Finais. O Capítulo 1 procura explicar o que é a ciência da complexidade, partindo de uma caracterização do paradigma redutor. Assim, neste capítulo será abordado o paradigma redutor e a metodologia daí resultante. Em seguida, as principais teorias que formam a ciência da complexidade serão abordadas, a fim de demonstrar na última seção o processo de emergência e dissipação de estruturas. O Capítulo 2 propõe, primeiramente, a analisar a influência do método redutor no pensamento econômico. Em seguida, é abordado a economia da complexidade e conseqüentemente a economia como uma estrutura dissipativa em constante evolução resultado da inovação tecnológica e incerteza. Por fim, no Capítulo 3, será demonstrado como as propriedades supracitadas emergem da dinâmica alocativa sob retornos crescentes, a partir dos modelos desenvolvidos por Brian Arthur. Em seguida, serão analisadas as implicações dessas propriedades sobre a metodologia analítica marginalista/neoclássica, a fim de demonstrar que a aceitação dessas propriedades implica dizer que o sistema econômico, em certo sentido, está “vivo”.

³ A primeira versão destes trabalhos é de 1983.

CAPÍTULO I - A CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE

A visão de mundo que passou a ser dominante desde a revolução científica, ocorrida entre os séculos XVI e XVII, e o posterior estabelecimento do método cartesiano newtoniano como um paradigma, foi a de um mundo mecânico, determinístico e previsível. Entretanto, após descobertas ao longo do século XIX e XX, o paradigma redutor passou a ser alvo de questionamentos.

É nesse contexto, que em meados do século XX emerge a “antítese” do paradigma redutor (MORIN, 2011, p. 57) que é a ciência da complexidade. Esta busca entender o todo através, não só da interação entre os componentes do sistema, mas também através da interação entre o sistema e seu ambiente. Em outras palavras, busca-se o conhecimento holístico para recuperar as conexões “mutiladas” (Ibidem, p. 57) pelo paradigma redutor.

Assim, este capítulo está dividido em cinco seções (i) primeiramente, uma apresentação do paradigma redutor; (ii) em seguida será respondido uma pergunta fundamental para o entendimento do restante deste texto, “o que é complexidade?”; (iii) a partir daqui serão apresentadas as teorias fundamentais para entender o que é ciência da complexidade, iniciando com a teoria dos sistemas, sua auto-organização e processos emergentes; (iv) nesta seção será introduzido o estudo da dinâmica não linear das interações; (v) por fim, todos estes conceitos serão reunidos para explicar a auto organização e a emergência de macroestruturas em estruturas dissipativas.

1.1 – O paradigma redutor

A forma de compreender o mundo e o sistema de valores que foram base do mundo ocidental até o século XVI tinham como pilares científicos a filosofia de Aristóteles e a escolástica, que representava o pensamento cristão da Idade Média (CAPRA, 1982, p. 39). A revolução científica, ocorrida entre os séculos XVI e XVII, proporcionou uma mudança drástica, não só na metodologia científica como também na maneira como as pessoas interpretam o mundo e todo seu modo de pensar. A atual cultura ocidental, em suas linhas basilares, emerge da produção científica desse período.

O marco inicial deste período foi a proposição heliocêntrica de Nicolau Copérnico. Entretanto, foi Galileu Galilei, o responsável por dar o primeiro passo na mudança do método

científico. Ele foi o primeiro a combinar experimentação científica com o uso da linguagem matemática a fim de formular leis de funcionamento da natureza (Ibidem, p. 43). Com o propósito de possibilitar aos cientistas a descrição da natureza através da linguagem matemática, Galileu postulou que o método científico deveria restringir-se ao estudo das propriedades essenciais dos corpos materiais – formas, quantidades e movimento. Ele acreditava que a

“filosofia está escrita nesse grande livro que permanece sempre aberto diante de nossos olhos; mas não podemos entendê-la se não aprendermos primeiro a linguagem e os caracteres em que ela foi escrita. Essa linguagem é a matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas” (Apud RANDALL, 1976, p. 237).

O uso do método empírico aliado com a descrição matemática da natureza, os dois aspectos pioneiros do trabalho de Galileu, tornaram-se características dominantes da ciência, perdurando até os dias atuais. Inspirado por Galileu, René Descartes, acreditava que a chave para a compreensão do universo repousava em sua estrutura matemática – sinônimo de ciência, em sua opinião. Em vista desta compreensão, o objetivo de Descartes passou a ser a construção de uma ciência natural e exata. Desse modo, ele afirmou, acerca das propriedades dos objetos físicos:

"Não admito como verdadeiro o que não possa ser deduzido, com a clareza de uma demonstração matemática, de noções comuns de cuja verdade não podemos duvidar. Como todos os fenômenos da natureza podem ser explicados desse modo, penso que não há necessidade de admitir outros princípios da física, nem que sejam desejáveis" (Apud CAPRA, p. 44)

Com o intuito de construir essa ciência natural e exata, ele desenvolveu um novo método de raciocínio que apresentou em seu livro mais famoso, “Discurso sobre o Método para bem conduzir a razão na busca da verdade dentro da ciência”, que em seu título já expunha o propósito de apontar o caminho a ser percorrido para a verdade científica ser alcançada. O método cartesiano é analítico, isto é, consiste na redução do objeto de estudo até sua mínima parte, para, então, dispô-los em sua ordem lógica. Todo o entendimento cartesiano a respeito da natureza é baseado na divisão fundamental entre dois domínios supostamente separados e independentes: o da mente, *res cogitans*, a “coisa pensante”, e o da matéria, *res extensa*, a “coisa extensa”.

A metáfora do relógio, feita por Descartes, descrevia o universo como uma máquina simples que operava de acordo com leis mecânicas deterministas, e tudo no mundo material poderia ser explicado através da organização e do movimento de suas partes. Segundo o físico Fritjof Capra (1982, p. 40-50), esse quadro mecânico do universo tornou-se o paradigma dominante da ciência no período que se seguiu a Descartes e ainda exerce bastante influência no método de pesquisa nas ciências humanas, apesar de ter sido deixada de lado nas ciências naturais. A ênfase enorme dada ao método cartesiano levou à fragmentação do pensamento e das disciplinas acadêmicas, acarretando, dessa forma, numa atitude generalizada do reducionismo na ciência – a crença que é possível compreender todos os aspectos dos fenômenos complexos a partir de sua redução em partes constituintes.

Se Descartes teve papel fundamental para a revolução científica, Isaac Newton foi o responsável por dar vida ao sonho cartesiano de uma ciência natural e exata. Para tal, Newton desenvolveu uma completa formulação matemática da concepção mecanicista através de um método matemático, chamado cálculo diferencial. Ele empregou seu novo método para formular as leis exatas do movimento para todos os corpos, sob a influência da força da gravidade. A importância dessas leis reside na sua aplicação universal. A confirmação de que as leis eram válidas para todo o sistema solar parecia validar a visão mecanicista da natureza. O universo newtoniano era, dessa forma, um sistema mecânico que funcionava de acordo com leis matemáticas exatas.

No sentido dado pelo filósofo da ciência Thomas Kuhn (1991, p. 43) “no seu uso estabelecido, um paradigma é um modelo ou padrão aceitos”. Desta maneira, a consolidação do método racional dedutivo cartesiano por parte de Newton foi fundamental para o surgimento do paradigma redutor, que influenciou e influencia praticamente todos os campos do conhecimento científico. Esse paradigma simplificadamente parte do pressuposto de que para conhecer o todo, é preciso, primeiramente, fragmentá-lo em seus componentes mínimos para estudá-los separadamente. O todo seria, então, o resultado da soma e junção de todos os componentes. A consequência inevitável do estabelecimento concreto da visão mecanicista do mundo no século XVIII foi o convertimento da Física como base de todas as ciências. Ao escrever “ toda a filosofia é com uma árvore. As raízes são metafísica, o tronco é a física e os ramos são todas as outras ciências” (*Apud* CAPRA, 1982, p. 53) , Descartes parecia estar ciente do protagonismo da Física.

Durante o século XIX, novas descobertas e novas formas de pensamento evidenciaram as limitações do paradigma redutor. Uma dessas descobertas foi feita inicialmente por Michael Faradei e completado posteriormente por Clerk Maxwell mecânica newtoniana sofre suas primeiras contestações, devido a teoria da eletrodinâmica desenvolvida por Michael Faraday e Clerk Maxwel. Eles foram os primeiros a ultrapassar a física newtoniana ao substituir o conceito de força pelo de campo de força (CAPRA, 1982, P. 56). Contudo, a tendência de pensamento que veio substituir a redução do mundo mecânico e exercer grande influência no pensamento científico, foi a ideia de evolução – mudança, crescimento e desenvolvimento. Essa ideia teve início, na Biologia, com Jean-Baptist Lamarck, seguindo a qual as formas de vida mais avançadas evoluíram de formas mais primitivas. Décadas depois Charles Darwin apresentou uma quantidade maciça de provas em favor da evolução biológica, colocando o fenômeno acima de qualquer dúvida.

A descoberta e comprovação da evolução na Biologia levou os cientistas a questionar o paradigma redutor, que reduzia o mundo a um sistema mecânico passível de descrição objetiva, sem menção ao observador humano. Todos os eventos ocorridos teriam tido uma causa definida que originou um efeito definido, e o futuro de qualquer parte do sistema , podia – em princípio – ser previsto com absoluta certeza , desde que seu estado, em qualquer momento dado, fosse conhecido em todos seus detalhes. A história, nesse paradigma, não tem importância alguma sendo uma mera transportadora do inevitável. O mundo, pelo contrário, devia ser descrito como um sistema em um constante e irreversível processo de evolução, no qual estruturas complexas se desenvolviam a partir das formas mais simples. Estas novas descobertas indicavam que o universo era muito mais complexo do que Descartes e Newton haviam imaginado.

I.2 O que é complexidade?

A melhor forma de começar a responder esta pergunta é fazendo uma diferenciação entre “complexo” e “complicado”⁴, uma vez que, em diversos dicionários as duas palavras são tratadas quase como sinônimos. A etimologia de “complexo” vem da junção de duas palavras do latim: *complexus* – “ composto de partes interconectadas, formado por uma combinação de elementos simples” - , e *plectere* ou *plecto* – “ tecer, trançar, trança, entrelaçar e entrelaçado”.

⁴ O uso de “complexo” para descrever algo complicado foi registrado pela primeira vez apenas em 1715. Ver ETIMONLINE (2019)

O uso de “complexo” para descrever algo complicado foi registrado pela primeira vez apenas em 1715⁵. Em seguida, como foi feito pelo cientista americano Warren Weaver (1948) em um dos primeiros artigos conhecidos a tratar da complexidade, é necessário fazer uma diferenciação entre problemas simples e problemas complexos. Os “simples” são aqueles problemas que envolvem poucas variáveis, como os enfrentados pela mecânica newtoniana até o século XIX, e admitem explicações exclusivamente matemáticas. Já no século XX, com o surgimento da mecânica estatística, pôde-se passar a estudar os problemas com milhões ou bilhões de variáveis. Este método passa a desconsiderar o conhecimento das partes, em desorganização, e considerar apenas o todo. Weaver denomina este problema de “complexidade desorganizada”, apesar do todo apresentar alguma organização. Entre os problemas “simples” e os de “complexidade desorganizada” surge o que Weaver chama de “complexidade organizada”, sistemas que apresentam a organização como característica principal. Estes tipos de problemas eram, até então, pouco tratados na ciência, pois existia extrema dificuldade em tratar um todo orgânico formado por milhões de variáveis. Assim, pode-se dizer que uma definição embrionária de complexidade foi: um todo organizado formado por um grande número de fatores inter-relacionados.

Posto isto, é possível responder a pergunta que intitula esta seção sem confusões conceituais. Como definiu o filósofo francês Edgar Morin (2011, p. 35), complexidade pode ser definida da seguinte forma:

“ a um primeiro olhar, a complexidade é um tecido (complexus: o que é tecido junto) de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas: ela coloca o paradoxo do uno e do múltiplo. Num segundo momento, a complexidade é efetivamente o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos, que constituem nosso mundo fenomênico. Mas então a complexidade se apresenta com os traços inquietantes do emaranhado, do intrecicável, da desordem, da ambiguidade, da incerteza...”.

Entretanto, é preciso esclarecer que não há uma definição exata de complexidade. Deste modo, a melhor forma para ratificar o significado de “complexo” é o exemplo de uma colônia de formigas. Individualmente falando, a formiga é um dos animais menos sofisticados existentes, ligeiramente cega e minimamente inteligente. “Se cem formigas são colocadas em uma superfície plana, elas andarão em círculos nunca decrescentes até morrer por exaustão”, diz Nigel Franks (*Apud*, MITCHEL, p. 20)., biólogo especializado em comportamento de

formigas. Todavia, se cerca de meio milhão de formigas são reunidas, o grupo como um todo torna-se um “superorganismo” dotado de uma “inteligência coletiva” (Ibidem, p. 20).

Como esse fenômeno emerge? Embora os biólogos especialistas em formigas saibam muitas coisas relacionadas ao seu comportamento, eles não conseguem responder a esta pergunta. Assim, como no exemplo anterior, diversos outros sistemas, tanto os naturais quanto os antropogênicos, exibem fenômenos complexos similares: como membros independentes de uma economia produzem um mercado global estruturado? Como um grupo de células se junta para formar um tecido? Como a vida emerge de moléculas químicas? Tais questões fazem parte da ciência da complexidade, um campo transdisciplinar da ciência que busca explicar como um grande número de agente heterogêneos se organiza, sem a necessidade de um controle central, em um “todo” coletivo criador de padrões, com a capacidade de computar informações, evoluir e aprender (HOLLAND, 2013, p. 23).

I.3 - Sistemas, organização e propriedades emergentes

Um sistema pode ser explicado como um conjunto de elementos (agentes), interdependentes e interconectados, que estão em constante interação, obtendo alguma ordenação. O resultado da interação entre as partes é um todo integrado, “cuja propriedades não podem ser reduzidas às de unidades menores” (CAPRA, 1982, P. 245). O próprio significado da palavra “sistema”, derivada do grego *sinhistanai* (colocar junto), aponta que a visão sistêmica significa colocar os fenômenos dentro de um contexto e estabelecer a natureza de suas relações (CAPRA, 1996, p. 30).

Existem centenas de exemplos de sistemas na natureza, tanto na esfera biológica quanto na social. Os sistemas se organizam de tal maneira que formam estruturas multiniveladas, onde cada nível é dividido em sistemas menores, sendo cada um deles um sistema em relação aos seus agentes, e um agente em relação a outros sistemas maiores. Assim, átomos podem formar moléculas, que por sua vez geram organelas, cuja interações formam as células. Já as células formam os tecidos e órgãos, estes, por seu turno, constituem sistemas maiores, como o circulatório e respiratório. Finalmente, estes combinam-se e formam as mais variadas formas de animais, como os humanos. Estes juntam-se e formam famílias, tribos, cidades, mercados, sociedades, nações.

Embora esses sistemas sejam bem diferentes, quando estudados em detalhe, eles apresentam propriedades gerais comuns (i) comportamento complexo coletivo: todos os sistemas complexos⁶ consistem de uma grande rede de componentes obedecendo regras simples sem um controle central ou líder; (ii) Processamento de informação: Todos os sistemas complexos produzem e usam informações tanto do ambiente interno quanto externo; (iii) Adaptação: Todos os sistemas complexos adaptam, isto é, mudam seu comportamento para aumentar sua chance de sobrevivência através de aprendizado ou processo evolucionário (MITCHELL, 2009, p. 13).

Quando um sistema exibe um comportamento organizado sem um líder ou um controle interno ou externo, este é chamado de *auto-organizado*. Uma vez que, regras simples produzam comportamento complexo difícil de ser previsto, o comportamento macro do sistema é chamado emergente. Posto isto, a cientista complexa Melanie Mitchell propõe uma definição alternativa dos sistemas complexos: “um sistema que exibe comportamentos emergentes e auto-organizados não triviais”⁷ (Ibidem, p. 14)

A partir disso é possível afirmar que o estudo da *organização* tem um papel central na teoria dos sistemas. O biólogo Ludwing Bertalanffy, considerado o fundador da teoria dos sistemas⁸, foi bastante influenciado pela concepção organísmica da biologia. Esta considera o organismo como um todo ou sistema, e enxerga a descoberta dos princípios de organização em seus diversos níveis como o principal objetivo das ciências biológicas (BERTALANFFY, 1968, p. 12). Logo, na abordagem sistêmica, as propriedades dos componentes só podem ser entendidas por meio da organização do todo.

Entre as primeiras décadas do século XX e a década de 1950, a concepção de organização, presente na biologia organísmica, evoluiu para a concepção de auto-organização, com grande influência de trabalhos pioneiros no campo da cibernética. Tais trabalhos resultaram na descoberta de padrões de auto-organização. Estes padrões remetem a emergência espontânea de ordem através da interação entre os agentes, como um cardume de peixes ou um mercado

⁶ O desenvolvimento da complexidade enquanto campo de estudo levou a sua divisão em dois subcampos: um dedicado à compreensão dos *Complex Physical Systems* (sistemas complexos físicos) e outro à compreensão dos *Complex Adaptive Systems* (sistemas complexos adaptativos). Dado que, nesta tese, o sistema abordado é adaptativo, não será feita essa distinção.

⁷ (Tradução própria) “a system that exhibits nontrivial emergent and self-organizing behaviors”

⁸ Alguns autores como Capra (1996) apontam que a primeira tentativa de reunificar o conhecimento científico remontam ao desconhecido cientista russo Alexander Bogdanov na obra intitulada “Ensaio de Tectologia” 1922.

de ações. Uma vez iniciado, o estudo do comportamento auto-organizador deu origem a pesquisas nos mais diferentes campos científicos, resultando em seu aprimoramento. Tais aperfeiçoamentos conduziram a características comuns da auto-organização (i) o processo auto-organizador cria novas estruturas e novos modos de comportamento; (ii) é necessário um fluxo constante de energia e de matéria através do sistema para que ocorra a auto-organização, ou seja, para a primeira característica ocorrer o sistema tem de ser aberto e afastado do equilíbrio; (iii) a interconexão dos componentes do sistema é não-linear (CAPRA, 1996, p. 69).

A *hierarquia* é a outra característica chave para o entendimento da organização dos sistemas complexos. Contudo, é preciso fazer uma diferenciação do conceito de hierarquia na biologia e a hierarquia das relações humanas, visto que, a última refere-se à estruturas rígidas de controle e de dominação, muito diferentes da ordem multinivelada encontrada na natureza. Já o conceito de hierarquia (na biologia) refere-se à uma estrutura, ou “sequência, de entidades (funcionais) que é ordenada em várias camadas, conchas ou níveis”⁹, diz o ecólogo Eugene Odum (1953, p. 38).

Todos os sistemas são, em maior ou menor proporção, hierarquicamente organizados, existindo em níveis ou graus de complexidade com cada um dos níveis sendo regido por seu próprio conjunto de leis. Em tais sistemas, cada nível subsume todos os níveis inferiores dentro de si. Uma boa alegoria para visualizar a organização multinivelada é uma “boneca russa”, dado que, à medida que uma camada da boneca é aberta existe outra boneca menor em seu interior e assim por diante. Destarte, a hierarquia é fundamental para a organização dos sistemas, tendo em vista que estes são, muitas vezes, componentes de outros sistemas maiores. Assim, organização hierárquica e a auto-organização estão fortemente relacionadas com o conceito de emergência, sendo, elas mesmas, emergências espontâneas de ordem dos sistemas complexos. Como indicado por John Holland (2013) o estudo dos sistemas complexos é muitas vezes confundido ou trocado pelo estudo dos fenômenos emergentes oriundos de suas intrincadas redes de inter-relação entre os mais variados níveis de complexidade dispostos de maneira hierárquica.

⁹ (Tradução própria) “The concept of Hierarchy refers to a structure, or sequence, of (functional) entities which is ordered in several layers, shells, or levels”.

O termo “propriedades emergentes” foi cunhado pelo filósofo C. D. Broad na década de 1920 para designar as propriedades que emergem num certo nível de complexidade, mas não existem em níveis inferiores (CAPRA, 1996, p. 30). Muitas vezes as propriedades emergentes são definidas com a frase genérica “o todo é mais que a soma de suas partes”, pois, apesar de ser um resultado da interação entre os agentes, os fenômenos emergentes manifestam-se apenas no nível macro. Logo, essas espécies de fenômenos não podem ser estudadas através de sua “mínima parte” como indica o paradigma simplificador. Por exemplo, a “umidade” de uma molécula de H₂O não pode ser atribuído as moléculas individuais de hidrogênio e oxigênio, porque esta é uma propriedade resultante da interação entre as partes. O mesmo acontece com as “bolhas” e “quebras” do mercado que não podem ser descritos pela soma das ações individuais dos *traders*, pois dependem da interação entre eles. Logo, se as partes de um sistema são “mutiladas”- para usar as palavras de Morin - e perdem sua interação, conseqüentemente o conhecimento sobre o todo também é “mutilado”.

Portanto, os fenômenos emergentes “são novidades no funcionamento do sistema” (FOLLONI, 2016, p. 53). A emergência ocorre no tempo, isto é, os padrões emergentes surgem e transformam-se a medida que o sistema complexo evolui. Devido a essa novidade, é possível afirmar que antes da emergência se manifestar, sua previsão absoluta é impossível. Por conta da manifestação ostensiva de emergências e de suas diferenças em relação as organizações anteriores, sua compreensão depende de uma visão sistêmica, capaz de retirar o foco exclusivo nas partes para integrá-las ao todo.

I.4 - Não-linearidade, caos e feedback

A diferença essencial – apontada pelo matemático Steven Strogatz (1994)– entre um sistema linear e não-linear é que o primeiro pode ser decomposto em partes menores. Então, cada parte pode ser analisada separadamente para, posteriormente, serem recombinaadas e chegarem a uma resposta. Esse método permite simplificações muito importantes para resolução de problemas complicados. Entretanto, alerta Strugatz (Ibidem, p. 1-15), vários fenômenos na natureza não se comportam dessa forma, pois, “sempre que partes de um sistema interferem, cooperam ou competem existem interações não-lineares acontecendo”. Neste sentido, a configuração posterior de sistemas que apresentam dinâmica não-linear não podem ser descritos como função linear de sua configuração inicial. Em outras palavras, não

há proporcionalidade entre os efeitos finais e às causas iniciais, pois pequenas ocorrências no nível dos agentes pode provocar mudanças importantes na configuração macro. Logo, o método de decomposição em partes torna-se altamente ineficiente para a compreensão de sistemas que apresentam interações não-lineares no nível micro.

A não-linearidade relaciona-se com o comportamento caótico. Todos os sistemas caóticos são não-lineares, entretanto nem todos sistemas não-lineares são caóticos. Assim, o caos é um caso particular de não-linearidade. É preciso ressaltar, para não haver confusões conceituais, que a palavra “caos”, em ciência, não se relaciona, necessariamente, com colapso, desordem ou indeterminismo, apesar desse sentido estar sempre relacionado com a imprevisibilidade do comportamento futuro do sistema dinâmico.

Embora, tenha causado certo furor ao “balançar as bases da ciência” (WALDROP, 1992, p. 12), não existe uma definição exata para a teoria do caos. A ideia de caos é que em alguns sistemas – sistemas caóticos – incertezas minúsculas nas medidas das condições iniciais pode resultar em erros enormes em previsões de longo prazo (MITCHEL, 2009, p. 20). Posto isto, a definição de caos é frequentemente associada à extrema dependência nas condições iniciais. Dessa forma, uma minúscula diferença nas condições iniciais provoca discrepâncias enormes no estado final. O exemplo do meteorologista Edward Lorenz (1972) tornou-se bastante famoso por explicar de forma elucidativa o que ele denomina de “efeito borboleta”. Este fenômeno ilustra o comportamento caótico do sistema meteorológico. Tal sistema, tem sensibilidade extrema às condições iniciais, e o bater de asas de uma borboleta no Brasil (condição inicial) pode causar um tornado imprevisível no Texas (estado final). A partir deste exemplo percebe-se que em sistemas não-lineares as relações de causa e consequência não são triviais, ou seja, se um efeito não é gerado sempre por uma única causa ou pela mesma causa, ou que as mesmas causas não produzem os mesmos efeitos. Essa desproporcionalidade conduz à ideia de causalidade não-linear e recursividade.

Recursividade, por sua vez, é um processo em que “os efeitos ou produtos são, simultaneamente, produtores e causas”, de forma que “os estados finais sejam cogeradores dos estados iniciais” (FOLLONI, 2016, p. 54-57). Quanto mais intrincada for a rede de retroação entre variadas causas e variados efeitos mais complexo é o sistema. Desta forma, quanto maior for a complexidade de um sistema maior será a dificuldade de saber exatamente

qual é a causa para determinado efeito. Por conseguinte, fica claro que as características da não-linearidade e da recursividade criam dificuldades maiúsculas em relação a previsão do comportamento de sistemas complexos. Por isso, diferentemente do que é visto nos sistemas lineares, conhecer os estados iniciais não implica prever o comportamento do todo, inclusive aqueles que operam sob leis deterministas, como foi alertado por Henry Poincaré (1963). Em certa medida, essa constatação acaba com o sonho redutor que baseava-se no conhecimento do estado inicial e das leis que regem o sistema para previsão do comportamento futuro¹⁰, como é colocado de forma assertiva pela cientista Melanie Mitchell (2009, p. 34) “a linearidade é o sonho reducionista e a não-linearidade, pode ser, as vezes, seu pesadelo”.

Como foi visto, uma das razões da emergência da não-linearidade são as interações – cooperação, competição e interferência – no nível micro. A segunda fonte de não-linearidade é a ocorrência de *feedback*. Esta palavra não tem tradução muito simples na língua portuguesa, podendo ser vertida como resposta, retroalimentação ou efeito retroativo. O conceito de *feedback* foi introduzido pelo matemático Norbert Wiener (1948), considerado o fundador da cibernética, para estudar fenômenos comuns à animais, máquinas e sistemas sociais. Ao contrário do que acontece em sistemas lineares, onde não existe relação entre causa e efeito, nos sistemas não-lineares existe dependência em eventos anteriores. Por exemplo, a expectativa de crescimento de um país tem impacto no seu crescimento e este, por sua vez, impacta na expectativa, e assim em diante. Esse fenômeno causa uma cadeia de causa e efeito chamado *feedback loop*. Quando existe uma circularidade de ações entre *inputs* e *outputs*, em um sistema dinâmico, pode-se dizer que há *feedback*. Chama-se de *input* a informação recebida do ambiente e *output* a resposta do sistema ao ambiente. Assim, um *feedback loop* pode ser definido como um canal ou caminho formado por um efeito retornando à sua causa. Os *feedback loops* são divididos em dois tipos diferentes: *feedbacks* positivos e *feedbacks* negativos.

Feedbacks negativos, apesar do que o nome indica não é algo necessariamente ruim, mas sim um *feedback* responsável pelo balanceamento do sistema.. Por exemplo, quando a demanda por um bem normal sobe, conseqüentemente, seu preço aumenta, este aumento de

¹⁰ Essa pretensão foi enunciada por Pierre Simon Laplace, “Essai Philosophiques sur les probabilités” 1814, nas seguintes famosas palavras “Um intelecto que, em um dado instante, conheça todas as forças pelas quais a natureza é animada, e a posição de todos os entes dos quais a natureza é animada, e a posição de todos os entes dos quais a natureza é composta; e se esse intelecto fosse grandioso o bastante para submeter tais dados à análise; ele incluiria numa única

preço retroage sobre a demanda, provocando sua queda. Em contraste, *feedback* positivo é um processo auto reforçador. Este feedback está sempre associado ao crescimento ou decrescimento exponencial total. Retornos crescentes são um ótimo exemplo de *feedback* positivo. Quando este tipo de retorno ocorre há um incentivo extra para manter o que o causou. É de suma importância ressaltar que os feedbacks negativos ocorrem de forma um tanto quanto proporcional, daí surge o resultado retornando à causa, isto é, este tipo de feedback age no sentido de equilibrar o sistema e o resultado da soma de sua causa e efeito tende a zero. Logo, quando os feedbacks negativos estão em jogo o sistema tende ao equilíbrio e o total de ganhos e perdas é igual a zero. Contudo, esse processo cai quando os feedbacks positivos entram em cena. Devido sua característica auto reforçadora a soma de seus efeitos é diferente de zero, afastando-se assim do equilíbrio.

Destarte, tanto os feedbacks negativos quanto os positivos são elementos chave para a compreensão da dinâmica não-linear. A não-linearidade é o núcleo de diversos desafios científicos, a fim de encontrar novas maneiras de compreender esse complexo mundo em seus próprios termos de irregularidade e imperfeição e enfrentar os problemas do século XXI.

I.5 – Estruturas dissipativas, autopoiese e evolução

Como foi visto, todos os sistemas vivos – desde as plantas até os sistemas antropogênicos – são sistemas abertos. No intuito de sobreviver, estes sistemas, são obrigados a manter uma interação contínua com o seu ambiente. Essa é uma condição necessária para a existência desses sistemas. Contudo, a classificação de estruturas vivas como sistemas abertos, desenvolvida por Ludwing Bertalanffy na década de 1940, não soluciona o problema da coexistência entre estrutura e mudança. Tal problema foi solucionado na década de 1970 através da teoria das estruturas dissipativas. Elaborada pelo prêmio Nobel em Química, Ilya Prigogine, a teoria de estruturas dissipativas vai além da teoria do sistema aberto, pois abrange pontos de instabilidade, de onde novas estruturas e novas ordenações podem emergir. A teoria das estruturas dissipativas implica numa série de mudanças conceituais presentes no paradigma redutor: do equilíbrio para o desequilíbrio, da ordem para a desordem, do ser para o vir a ser (CAPRA, 1996: 140-145).

fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e também os dos átomos mais diminutos; para ele, nada seria incerto e o futuro, assim como o passado, estaria presente diante de seus olhos.”

As estruturas dissipativas tem esse nome, pois mantêm uma produção contínua de entropia que também é dissipada continuamente para o ambiente. Palavra derivada do grego *entropêe* “em movimento”, entropia é a medida de desordem de um sistema¹¹. Dessa forma, a entropia é parte de um contínuo fluxo de energia com o ambiente. A manutenção dessa troca contínua de energia entre o sistema e o ambiente implica, necessariamente, que o sistema opere fora do equilíbrio, e este, por sua vez mantém o processo de troca necessário para a sobrevivência.

O fato do sistema operar afastado do equilíbrio é a chave para a compreensão das estruturas dissipativas. Organismo vivos se mantêm continuamente num estado fora do equilíbrio, que é o estado da vida. Um organismo em equilíbrio é um organismo morto (CAPRA, 1996, p. 151). A cidade é um importante exemplo, trazido por Prigogine (2002, p. 21), para ilustrar essa situação:

“O exemplo mais simples de uma estrutura dissipativa que podemos evocar por analogia é a cidade. Uma cidade é diferente do campo que a rodeia; as raízes dessa individualização estão nas relações que ela mantém com o campo adjacente: se estas fossem suprimidas, a cidade desapareceria”

Operar longe do equilíbrio possibilita que os sistemas complexos evoluam, através da interação com seu meio, por meio de pontos de instabilidade. Tais pontos, conduzem o sistema a novas formas de ordem, num processo batizado de “*order out of chaos*” (PRIGOGINE, 1984). Essas novas formas de ordem, por sua vez, se afastam mais e mais do estado de equilíbrio. Em outras palavras, as estruturas dissipativas podem evoluir para formas de complexidade sempre crescente. Para afastar qualquer tipo de confusão conceitual, é preciso ressaltar que evolução não tem valoração normativa, isto é, não significa uma mudança para melhor, mas sim a mudança de um nível de complexidade para outro.

A formação espontânea de novas formas de ordem resulta da flutuação e instabilidade que já não podem ser mais absorvidas pelo sistema, causadas por choques exógenos e endógenos (JANTSCH, 1982, p. 77). Além desses dois fatores de transformação, a “história” de um sistema complexo sempre influenciará a tomada de “decisão” num ponto crítico.

¹¹ Na termodinâmica clássica, onde surgiu o conceito de entropia, supõe-se que o sistema não interage com seu meio. Logo, a tendência, neste tipo de sistema, é de uma desordem sempre crescente.

Diferentemente do que acontece em sistemas no âmbito linear, a história jamais é esquecida no âmbito não-linear.

As flutuações podem atingir o sistema mais ou menos aleatoriamente, pelo lado de fora. Este processo, batizado por Hanz von Foerster (2003, p. 13) de “*order from noise*” (ordem a partir do ruído), caracteriza-se pela surgimento de novas ordens a partir de ruídos, oriundos do meio onde se encontra o sistema, que, por sua vez, são “interpretados” e “respondidos” pelo sistema, inclusive em formas de novas organizações emergentes (WEISS, 2013, p. 21). Por outro lado, as flutuações também podem ser geradas dentro do sistema, por meio de *feedbacks* positivos, que, neste caso, atuam como *feedbacks* evolucionários (Ibidem, p. 33), por gerar novas formas de ordem. Este processo de natureza auto-reforçadora pode gerar o aumento de entropia, e conseqüentemente de instabilidade, dentro do sistema até um ponto em que não pode mais ser absorvida, conduzindo-o a um ponto crítico. Neste ponto, o sistema pode se decompor ou então imergir num dentre vários novos estados de ordem (JANTSCH, 1982, p. 40-42).

Assim, tanto as flutuações geradas por choques externos quanto àquelas geradas internamente crescerão até um ponto onde o sistema não seja mais capaz de as absorver. Qual a exata “decisão” tomada pelo sistema nesse ponto crítico depende da história do sistema. Dependendo de qual caminho o sistema tenha tomado para alcançar o ponto crítico, diz Capra (1996, p. 144), ele seguirá uma ramificação ou outra dentre aquelas disponíveis depois da bifurcação. Dessa forma, todos os sistemas complexos apresentam “*path dependence*” (caminhos de dependência).

A emergência de novas formas de ordem também podem acontecer através de autopoiese. Derivada da palavra grega “*poesia*” – corresponde a “criação” e/ou “construção” - autopoiese significa “autocriação” (Ibidem, p. 77). Desenvolvida pelos biólogos chilenos Humberto Maturana e Francisco Varela na década de 1970, a ideia de autopoiese é utilizada para caracterizar os sistemas vivos: um sistema vivo é aquele que apresenta autopoiese, ou seja ser autopoietico classifica um sistema como vivo.

Autopoiese é uma noção ligada aos processos de produção e reprodução de si mesmo que um sistema vivo apresenta. É um processo de produção e reprodução continua de componentes. O

sistema autopoietico gera sua própria organização através de seu próprio funcionamento incessantemente enquanto estiver vivo (FOLLONI, 2016, p. 44). Neste sentido, eles são autônomos, isto é, as mudanças pelas quais o sistema passa são subordinadas a si mesmo¹². Esse ritmo constante de reprodução e produção constitui o sistema como um todo distinguível de seu meio.

Como foi visto, essa incessante produção e reprodução de componentes ocorre sob constantes flutuações provenientes tanto do seu interior, quanto do seu meio. Por essa razão, um sistema autopoietico está em constante evolução: por meio da produção e reprodução de componentes, que, por sua vez, produzem processos, que produzem componentes, ininterruptamente. O termo “evolução” de um sistema complexo, então, implica na transformação de um estado particular de ordem em um que difere do seu original – a emergência de novas formas de ordem, auto-organização e regimes dinâmicos (WEISS, 2013, p. 19).

Portanto, o processo de auto-organização fora do equilíbrio corresponde a uma sutil interação entre acaso e necessidade, e entre flutuações e leis deterministas. Como disse Morin (2011, p. 44), a complexidade diz respeito ao acaso e a incerteza, tanto do conhecimento a respeito dos sistemas complexos, quanto ao seu próprio funcionamento. Nos sistemas vivos, a ordem originada do não-equilíbrio torna-se evidente “na riqueza, na diversidade e na beleza da vida (...) ao longo do mundo vivo, o caos é transformado em ordem” (CAPRA, 1996, p. 144).

¹² Isso não significa dizer que sejam sistemas fechados, como explica Von Foerster pode-se a expressão “auto-organização” se nele está contido a relação de troca de energia e matéria com seu ambiente. Ver Foerster 2003: 38

CAPÍTULO II – A ECONOMIA DA COMPLEXIDADE

O método cartesiano newtoniano se consolidou como um paradigma e conseqüentemente tornou-se o referencial teórico a ser utilizado em qualquer campo do conhecimento. A conseqüência desta consolidação culminou na revolução marginalista que marca uma mudança paradigmática (tanto da visão de mundo quanto do método analítico) em relação a economia política clássica. Como será visto na primeira seção, os protagonistas desta transformação expuseram explicitamente, em seus trabalhos, sua fonte de inspiração.

Essa metodologia permitiu simplificar a desordem e a complexidade das interações existentes no sistema econômico, retirando dele aspectos importantes como a importância do tempo, heterogeneidade do processo decisório dos agentes, incerteza em relação ao futuro. Como soma de tudo isso, essa metodologia dá um sistema estático, sem espaço para transformação tanto dos agentes quanto do próprio sistema. Em outras palavras, um sistema em equilíbrio. Como indicado por W.B. Arthur (2014, p. 01-30) essa abordagem ofereceu bons insights através de um “retrato do sistema econômico”. Contudo, devido à essas reduções metodológicas, a abordagem marginalista não consegue explicar o processo evolutivo do sistema econômico, isto é, o processo de emergência de novas estruturas e o desaparecimento de outras.

Assim como a ciência da complexidade emerge como uma antítese do paradigma redutor, a economia da complexidade emerge como uma antítese da abordagem marginalista. Isto é, os agentes deixam de ter uma racionalidade maximizadora e passam a agir por processo indutivo em constante adaptação ao ambiente econômico, há incerteza ligada aos eventos futuros, pois o sistema deixa de independe do tempo e passa a ser dependente do seu processo evolutivo, assim o futuro deixa de ser apenas uma representação do passado. Em última instância o sistema deixa de ser mecânico, caracterizado pelo estado de estase em equilíbrio (típico aos organismos sem vida), e passa a ser orgânico, caracterizado pela sua essência dinâmica e pelo estado fora do equilíbrio (típico de um sistema vivo).

Destarte, o capítulo está dividido em quatro seções (i) aborda a influência do paradigma redutor nos protagonistas da revolução marginalista e a interpretação do sistema econômico que daí emerge; (ii) em seguida será abordado a economia da complexidade, mais especificamente, buscar-se-á demonstrar como surgiu e o que é a economia da complexidade, além de apresentar a perspectiva de processo e emergência ; (iii) nesta seção será demonstrado como o estado de desequilíbrio é criado endogenamente, no sistema econômico, por meio da incerteza e inovação tecnológica; (iv) por fim, será abordado a natureza auto reforçadora das fontes de desequilíbrio endógeno.

II.1 – O paradigma redutor na ciência econômica

O impacto do paradigma redutor no método científico foi enorme. A utilização do método analítico cartesiano aliado ao forte uso de uma linguagem físico-matemática, passou a validar uma teoria como científica ou não. Como não poderia ser diferente este pensamento influenciou fortemente a ciência econômica. A partir de um estudo mais aprofundado das obras dos principais autores marginalistas, como William Jevons e Leon Walras¹³, pode-se perceber o impacto do método analítico cartesiano e da física na ciência econômica. As evidências disso são retiradas por meio de uma comparação entre exemplos físicos da época e aqueles presentes nos trabalhos dos autores supracitados, além de uma informação biográfica dos princípios proclamados por estes autores (MIROWSKY, 1984, p. 362). Todos os grandes protagonistas da ‘revolução marginalista’ expuseram explicitamente, em seus trabalhos, sua fonte de inspiração.

Jevons, por exemplo, em sua obra intitulada “The theory of political economy”, afirma que sua equação de troca “não difere, em caráter geral, daquelas que são realmente utilizadas em diversos ramos da física” (Ibidem, p.363). Durante uma apresentação diante da *Manchester Statiscal Society*, Jevons vai além no uso de metáforas, ao afirmar que

“utilidade existe apenas quando, de um lado, há uma pessoa com desejo, e do outro o objeto desejado (...) assim como a força da gravidade de um corpo não depende apenas de si, como também das massas e posições e distância relativa de outros corpos, então utilidade é uma atração entre um ser que deseja e o objeto desejado” (Ibidem, p. 363)

¹³ A influência da física sobre os autores marginalistas também pode ser vista em Fisher (1982), Antonelli (1886), Auspitz e Lieben (1889), Francis Edgeworth e Pareto.

A franqueza sobre sua fonte de inspiração não foi exclusividade de Jevons. Leon Walras foi explícito quanto a sua motivação de validar a economia como ciência. Para tal, Walras, defende em seu livro “Elements of pure economics” que “a teoria econômica pura é uma ciência que assemelha-se as ciências físico-matemática em todos os aspectos” (Ibidem, p.364). Na sua opinião, uma ciência pura está apenas interessada na relação entre coisas, que são independentes da vontade humana, outros fenômenos sociais que sofrem influência da atividade humana devem ser relegadas aos estudos com técnicas não científicas.

Neste sentido, Walras defende que existe um subconjunto limitado de fenômenos econômicos que poderiam ser objetos de investigação científica pura: elas são as configurações de preço em um regime de “competição perfeita”. Tais relações puras, para Walras, demandam a aplicação das mesmas técnicas matemáticas usadas na física de seu período. A união entre as técnicas da física e economia só é revelada completamente em seu artigo de 1909 intitulado de ‘Économique et Mécanique’, no qual ele desenvolve as duas metáforas favoritas dos autores marginalistas: a mecânica racional de equilíbrio e as relações matemáticas entre os corpos celestes (MIROWSKY, 1984, p. 364).

A partir da revisão bibliográfica feita acima, fica evidente a influência do paradigma redutor na abordagem marginalista e conseqüentemente nas formulações econômicas subsequentes até os dias atuais. A visão do sistema econômico que emerge sob o referencial teórico do paradigma redutor, reduz a economia à um sistema mecânico, estático, com um único ponto de equilíbrio a ser alcançado, previsível, determinado pela quantidade de recursos naturais, localização geográfica, tamanho da população, preferência dos consumidores e possibilidades tecnológicas. Nesta visão a ‘historia se repete’, no sentido de que o futuro é uma mera projeção do passado¹⁴, o sistema é ergódico.

Assim, a adoção do método analítico redutor aliado a uma linguagem físico-matemática constitui o *hard-core* da economia marginalista e, de certa forma, valida a economia como ciência . Isso explica o posterior sucesso da economia marginalista em ocupar programas de pesquisa. Esse paradigma se preservou e continua influenciando fortemente novas formulações de teoria econômicas até os dias atuais, mesmo após as mudanças ocorridas na própria física durante o século XX.

¹⁴ Pode-se dizer que a metodologia marginalista se aproxima de um estudo teleológico, isto é, o estudo dos fins.

II.2 – A economia como um sistema complexo adaptativo

Como foi visto, durante o século XX o método redutor se mostrou ineficiente para compreender fenômenos complexos, ao mesmo tempo em que houve diversos avanços nos mais distintos campos do saber científico. Isto representa uma mudança na forma das ciências – física, biológicas e sociais – enxergarem o mundo, passando de uma visão mecânica, linear, em estase, passível de previsões de longo prazo; para uma visão orgânica, onde a evolução e surgimento de novos hábitos e organizações são sempre possíveis, em eterno estado de desequilíbrio e transdisciplinar.

A ciência econômica não ficou indiferente à este processo. De fato, a possibilidade de explicações, através de modelos, de fenômenos econômicos complexos e até mesmo erráticos, provocou um interesse rapidamente crescente nas ferramentas teóricas e analíticas usadas para estudar sistemas complexos (FONTANA, 2008, p. 03). Este fenômeno cresce, segundo David Colander (2004, p. 12), se economistas que atuam na ‘fronteira’ do pensamento econômico passam a utilizar estas ferramentas. Esta adesão teve um ‘boom’ após a crise financeira de 2008, quando modelos de equilíbrio tinham pouco a adicionar em termos de políticas econômicas. Reforçando, desta forma, a tese de que a crise econômica é uma crise para a teoria econômica (KIRMAN, 2009).

Pode-se dizer que o marco inicial da aplicação do pensamento complexo na ciência econômica foi a reunião de vinte cientistas no Santa Fé Institute - referência no estudo de sistemas complexos - em setembro de 1987¹⁵. Entre os cientistas estavam dez economistas teóricos¹⁶ – convidados por Keneth Arrow. Enquanto os outros dez eram físicos, biólogos, cientistas da computação e psicólogos – convidados pelo físico Philip Anderson. A reunião deixou dois legados: a criação de um programa de pesquisa em economia e um livro (ANDERSON, 1987).

Apesar dos mais de vinte anos passados desde esse encontro, ainda existe um forte debate sobre a posição da complexidade dentro da ciência econômica. Muitos economistas da tradição neoclássica se mostraram relutantes em aceitar a complexidade como uma nova

¹⁵ Contudo, o termo *complexity economics* (economia complexa) só foi cunhado doze anos depois. Ver Arthur “Complexity and the Economy”, 1999: 107-109

¹⁶ A exceção de W.B. Arthur, todos os outros economistas convidados eram adeptos à teorias ortodoxas. Foram eles: M. Boldrin, W. Brock, H. Chenery, T. Kehoe, T. Sargent, J. Scheinkman, M. Simonsen, L. Summers

abordagem dentro do pensamento econômico, considerando-a meramente como uma forma de explicar os fenômenos resistentes a análise neoclássica (FONTANA, 2008, p. 06). Ou ainda, há aqueles – nova escola austríaca¹⁷ - que utilizam o argumento da auto-organização de modo a justificar a não intervenção nos mercados, tanto por parte do governo quanto de grupos corporativistas (Ibidem, p. 06).

Todavia, a economia complexa tem sido comumente associada a perspectiva de Santa Fé (Ibidem, p. 07) – ou perspectiva de emergência e processo – e é esta a abordagem adotada neste trabalho. Mas, afinal de contas, o que é exatamente a economia da complexidade ?

II.2.1 – A perspectiva de emergência e processo

Ao contrário do que pode se pensar, a visão complexa do sistema econômico não é nova. Em seu livro mais famoso “A Riqueza das Nações”, Adam Smith já tentava demonstrar que “açougueiros, padeiros, fazedores de pregos” , hoje chamados agentes, formavam um “todo” – mercado - a partir de suas ações individuais, sem a necessidade de um controle central, e como este “todo” influenciava a ação dos agentes¹⁸. ‘Como exatamente isso ocorre? Como a economia surge e muda estruturalmente?’ Schumpeter chamou essas questões de “as mais importantes de todos os fenômenos que procuramos explicar”(Apud, ARTHUR, 2014, p. 03).

Ora, a ciência da complexidade deve ser capaz de ajudar nessas questões, visto que, entender os processos que levam a formação e emergência de novos padrões é justamente o seu objeto. Desta forma, pensar no sistema econômico de forma complexa significa examinar a fundo as interações entre agentes. Estes estão sempre tentando explorar as oportunidades de uma economia, levando-os, dessa forma, a uma adaptação contínua. Em outras palavras, ver a economia como um sistema complexo adaptativo significa entender como este sistema evolui. Em detalhe isto significa compreender como o comportamento de agentes econômicos (pessoas, firmas, instituições públicas, bancos) faz emergir padrões agregados (preço, inflação, taxa de juros, mercados) e como estes padrões agregados influenciam o comportamento dos agentes, forçando, dessa forma, uma nova mudança do padrão. Este processo ocorre incessantemente formando um *loop* recursivo (ARTHUR, 2014, p. 01-04).

¹⁷ Principalmente seguidores das ideias de Friedrich Von Hayek

¹⁸ Para uma leitura sobre este tema ver Arthur (2014), Colander e Kupers (2014) e Farmer (2012)

No artigo mais próximo de ser considerado um manifesto, W.B. Arthur, S. Durlauf e D. Lane (1997, p. 07), elencam seis características que caracterizam a economia como um sistema complexo adaptativo (i) interação dispersa entre agentes heterogêneos; (ii) ausência de controle central universal; (iii) organização hierárquica transversal; (iv) adaptação contínua; (v) inovação perpétua; (vi) dinâmica fora do equilíbrio. Essas características resultam numa série de implicações (i) cognitivas: de uma visão única do processo cognitivo dos agentes para uma visão plural, onde cada agente toma decisões a partir de suas experiências; (ii) estruturais: a ação econômica é estruturada por papéis sociais emergentes e por procedimentos aceitos socialmente (Ibidem, p. 07-08). As entidades econômicas tem uma estrutura recursiva – são compostas de outras entidades. Assim, ocorre uma causalidade recíproca que opera em diferentes níveis de organização. A interação entre diferentes níveis pode fazer emergir novas organizações. Este é o principal princípio de organização na perspectiva de processo e emergência – a ideia de que unidades em um dado nível combinam-se para produzir unidades em nível superior; (iii) processo e emergência: deve estar claro que a ênfase dada aqui repousa no processo. Em particular, investiga-se como novos processos cognitivos emergem, novas tecnologias emergem e novas organizações emergem. Também é fácil notar que se a condição de novidade perpétua é colocada, não há espaço para qualquer tipo de equilíbrio. As únicas descrições que importam, sob essa condição, são de fenômenos transitórios – de emergência e processos.

O pensamento complexo ainda é um movimento novo e em evolução na ciência. Seus desdobramentos na ciência econômica são ainda mais recentes. Contudo, tem ganhado muitos novos adeptos ao mesmo passo em que vai influenciando uma mudança no *mainstream* econômico (COLANDER, 2004). Com isso surge o debate acerca de seu lugar dentro da ciência econômica. Dentre as diversas abordagens da economia complexa, o objetivo aqui foi apresentar as principais características da perspectiva de processo e emergência.

Posto isto, enxergar a economia como um sistema complexo adaptativo significa entender como ela cria e recree continuamente por meio de seus processos e emergências. A interpretação da economia como um sistema dissipativo oferece as ótimas ferramentas analíticas para entender os processos que levam a novas formas de organização. Demonstrando, assim, como uma ecologia - de ações, estratégias e crenças competindo por sobrevivência - está em perpétuo processo de adaptação a medida que novos comportamentos surgem, em resposta as possibilidades de exploração constantemente criadas.

II.3 – O desequilíbrio endógeno

O conceito de equilíbrio foi uma redução natural e importante para examinar padrões na economia através de análise matemática. Através de elegantes formulações matemáticas, a teoria de equilíbrio geral, oferece um retrato da economia em seu todo. Contudo, essa construção é muito pura, vive num mundo platônico de ordem, estase e perfeição (ARTHUR, 2014, p. 01-30). Ficando, assim, muito aquém do caos do mundo real. Ao assumir a condição de equilíbrio, coloca-se um forte filtro na compreensão da economia. Sob o estado de equilíbrio, por definição não há espaço para melhorias, para explorar, criar, ou para fenômenos transitórios (Ibidem). Por isso, qualquer coisa na economia que leve a um novo tipo de organização – adaptação, inovação, mudança estrutural, a própria história – devem ser retiradas da teoria. O resultado pode ser um lindo retrato da realidade. Contudo, é um retrato sem “autenticidade, criação e vida” (Ibidem, p. 05).

Em contraste, a perspectiva de não-equilíbrio na economia enfatiza a evolução. O sistema econômico transforma-se a medida que as “crenças, estratégias e ações” (Ibidem, p. 06) dos agentes são ‘testadas’ em um contexto, padrão ou ‘ecologia’ cocriados por estas mesmas “crenças, estratégias e ações”. Em outras palavras, a exploração constante de novas oportunidades altera a própria economia, o que, por seu turno, afeta o comportamento dos agentes. Logo, os agentes não estão apenas reagindo a problemas, pois ao fazer isso, eles reformam o padrão corrente. Assim, o sistema econômico encontra-se em um mundo de complexidade, uma complexidade intimamente associada ao não-equilíbrio.

Deste modo, a questão interessante a ser tratada pela economia da complexidade, segundo o economista Eric Beinhocker (2009, p. 100), é como o desequilíbrio pode ser criado endogenamente, como resultado da estrutura do próprio sistema econômico. São duas as fontes principais de desequilíbrio (i) incerteza e (ii) inovação tecnológica (ARTHUR, 2014, p. 01-30). Estes, por sua vez, são reforçados pela retroalimentação das interações.

II.3.1 – O papel da incerteza no desequilíbrio econômico

No núcleo de qualquer teoria econômica deve haver uma teoria do comportamento humano, visto que, em última instância, economias são formadas por pessoas. A fim de encaixar o fenômeno econômico dentro da estrutura de equilíbrio da física do século dezenove, a

suposição de racionalidade perfeita foi adotada pelos economistas marginalistas (BEINHOCKER, 2009, P. 117). A partir daí, a questão a ser respondida passou a ser de qual o comportamento consistente com o padrão cocriado. A economia complexa, em contraste, pergunta como o comportamento individual pode reagir aos padrões cocriados¹⁹.

A própria ação dos agentes no intuito de melhor aproveitar as possibilidades de uma economia faz com que esta transforme-se provocando o surgimento de novas possibilidades e conseqüentemente um novo ajustamento dos agentes. Este constante processo de ajustamento faz com que os padrões futuros do sistema econômico sejam incertos. Isto implica dizer que não há uma escolha ótima, isto é, não existe uma escolha tão boa que conduza a um ponto onde não há espaço para melhora. Assim, os agentes agem num cenário de incerteza fundamental - knightiana²⁰, onde todos os problemas de decisão na economia envolvem algo que ocorrerá no futuro e este, por seu turno, é imprevisível.

Isso não significa dizer que pessoas ou firmas deixem de agir. Pelo contrário, os agentes estão constantemente mudando e ou adaptando suas estratégias, através do conhecimento e de experiências passadas, de modo a explorar suas ações da melhor forma possível. Os agentes utilizam sua imaginação e sua experiência em eventos passados para ‘projetar’ um futuro e tomar decisões acima disso (ARTHUR, 2014, p. 01-30). Como colocado por G. Shackle (Apud, ARTHUR, 2014, p. 13) “o futuro é imaginado por cada homem para ele mesmo e este processo de imaginação é uma parte vital para a tomada de decisão”. Em outras palavras agentes tomam decisões por indução²¹.

O contínuo processo de adaptação dos agentes provoca um sempre presente movimento browniano dentro da economia, levando-a à um permanente estado disruptivo enquanto agentes “exploram, aprendem e adaptam-se” (Ibidem, p. 12).

II.3.2 - O papel da inovação tecnológica no desequilíbrio econômico

¹⁹ Ver Arthur(2014) e Beinhocker(2009)

²⁰ Estes conceitos foram desenvolvidos por J.M. Keynes e Frank Knight, respectivamente, para demonstrar que nem todas as conseqüências de uma ação ou decisão são conhecidas

²¹ Segundo Arthur(1994), chamar este processo de racionalidade limitada implica que agentes não usam todos seus poderes de raciocínio, o que pode ser falso num contexto de incerteza. Para uma visão mais detalhada sobre o tema, ver Arthur(1994) e Beinhocker(2009)

A outra fonte de desequilíbrio endógeno é a inovação tecnológica. Este assunto foi amplamente abordado por Joseph Schumpeter (1962), que descreveu a inovação tecnológica como a força motora do desenvolvimento capitalista. Tal inovação, ainda segundo Schumpeter, acontece devido ao lucro de monopólio excepcional proporcionado por ela. Esta teoria é incorporada aos modelos de equilíbrio marginalistas através do ajustamento, de tempos em tempos, do equilíbrio causados por tais mudanças exógenas (ARTHUR, 2014, p. 06).

De acordo com a perspectiva de processo e emergência, a inovação tecnológica tem efeito mais disruptivo que àquele dado por Schumpeter (Ibidem). A ênfase dada aqui é em como a economia se constrói a partir de suas tecnologias. Isto é, novas tecnologias não são apenas disruptões temporárias de equilíbrio, elas são geradoras e demandantes permanentes de novas inovações possibilitam o surgimento de novas tecnologias e novas formas de organização (ARTHUR, 2009). Assim, uma inovação tecnológica sempre é uma combinação das inovações anteriores. Logo, uma inovação serve como um *bloco de construção (building blocks)* para outras inovações (Ibidem).

É necessário dizer que este processo de emergência de novas tecnologias não ocorre por meio de evolução darwiniana, onde a herança de pequenas mudanças acumuladas levam a novas formas de organização, mas sim por meio de evolução combinatória (MITCHELL, 2019). Neste processo, chamado de evolução combinatória e caracterizado por grandes saltos evolutivos, diferentes tecnologias são combinadas resultando em uma tecnologia diferente de suas predecessoras. Apenas depois deste momento de grandes saltos a evolução por meio de pequenas alterações (darwiniana) entra em ação. Um ótimo exemplo é a invenção do computador. Este ‘demandou’ outras tecnologias (armazenagem de dados, linguagem de programação, algoritmos) e possibilitou o surgimento da internet. Esta, por sua vez alavancou enormemente a velocidade com que os agentes comunicam-se, tendo impacto no comércio, *business* e na cultura. Tornando-se, dessa forma, fator determinante para uma nova ordem mundial globalizada.

Portanto, novas tecnologias não são criadas do nada. Estas são construídas a partir de componentes já existentes e possivelmente servirão como *blocos de construção* para futuras

inovações. Neste sentido, a tecnologia constrói-se a partir de si mesma (Ibidem), ressaltando, deste modo, o caráter autopoietico da inovação e conseqüentemente do sistema econômico.

Assim, pode-se dizer que inovação tecnológica gera mais inovação tecnológica. Nota-se novamente a natureza auto reforçadora deste processo. A medida que novas tecnologias entram em cena, novas formas de organização e novas instituições emergem, o que, por sua vez, provoca o surgimento de novas tecnologias (Arthur, 2014, p. 01-30). Este processo incessante de criação é o principal responsável pela mudança estrutural na economia (Ibidem).

Desta forma, o resultado da inovação tecnológica não é meramente uma mudança ocasional provocada por mudanças exógenas, mas continuas ondas disruptivas causando novas ondas disruptivas. Destarte, a inovação tecnológica encuba mais inovações endogenamente incessantemente, jogando a economia em um permanente estado disruptivo. Apesar de ocorrer numa escala menor, em relação ao movimento browniano da incerteza, a inovação pode causar maiores impactos, pois, sozinha, pode conduzir a mais incertezas (Ibidem). Afinal de contas não é possível saber quais tecnologias aparecerão.

A medida em que a incerteza e as mudanças tecnológicas estão presentes na economia – e não resta dúvidas que ambos estão difundidos em todos os níveis – os agentes devem explorar o caminho a seguir, devem aprender sobre o problema enfrentado e devem responder às oportunidades confrontadas. A economia é um sistema cujas crenças, estratégias e ações dos agentes são ‘testadas’ continuamente. Ao fazer isso, os agentes alteram o próprio sistema econômico, resultando em um novo ajustamento por parte dos agentes. Em outras palavras, o sistema econômico está num mundo de complexidade, uma complexidade intimamente associada ao não-equilíbrio (SANTA FE INSTITUTE, 2019).

II.4 – A característica auto reforçadora das interações entre agentes e o sistema econômico

Os mecanismos que levam o sistema econômico ao desequilíbrio surgem do comportamento auto reforçador das interações entre os agentes e entre os agentes e a economia. Como foi visto, os agentes apresentam incerteza fundamental no processo decisório o que leva a mais incerteza, ou o surgimento de uma nova tecnologia serve como base para mais inovações

tecnológicas. Tais *feedbacks* positivos disturbam a conjuntura e provocam o estado de não-equilíbrio.

Os *feedbacks* positivos magnificam as perturbações. Os mecanismos que levam a recessão, identificados por J.M. Keynes (1936), são um ótimo exemplo de *feedback* positivo - apesar do efeito não positivo para os agentes. Uma queda na confiança do consumidor pode levar a uma queda no consumo, que provoca uma queda na produção, levando a um aumento do desemprego, acarretando em uma nova queda no consumo, levando, assim a economia para a recessão. A chave central é ter em mente que *feedbacks* positivos reforçam, aceleram ou amplificam qualquer perturbação que esteja sendo ‘encubada’. Sistemas que apresentam *feedbacks* positivos podem exibir tanto crescimento exponencial quanto colapso exponencial, ou oscilações com amplitudes crescentes.

Entretanto, como é explicado por Arthur (1990), um sistema não pode conter apenas *feedbacks* positivos ou negativo, pois no primeiro caso, o sistema apresentaria comportamento explosivo e no segundo caso convergiria rapidamente para o equilíbrio e ‘morreria’. Sob efeito tanto de *feedbacks* positivos quanto negativos, continua Arthur, o sistema demonstra comportamento complexo. Os *feedbacks* positivos levam ao surgimento novas estruturas que são compensadas pelos *feedbacks* negativos e dissipam-se. Assim, alguma estruturas vem e vão, outras ficam e servem de blocos de construção para outras estruturas. Em outras palavras, como foi dito por Arthur em uma entrevista para Mitchell (2019), “O sistema está ‘vivo’”.

CAPÍTULO III – *PATH DEPENDENCE*, *LOCK-IN* E SUAS IMPLICAÇÕES METODOLÓGICAS

A estrutura da teoria marginalista é construída sob a assunção de retornos decrescentes (ARTHUR, 1990). Isto é, a interação entre os diversos agentes econômicos gera *feedbacks* negativos que fazem preços e *market-share* convergirem para um único equilíbrio possível. Em outras palavras, tais *feedbacks* negativos estabilizam a economia incessantemente, pois suas reações anulam qualquer variação do padrão agregado. Este equilíbrio marca, assim, o “melhor” resultado possível: o uso e a alocação de recursos mais eficientes²². Assim, o futuro *market-share* torna-se previsível e a história tem um papel insignificante.

Entretanto, retornos decrescentes estão presentes apenas em atividades econômicas baseadas em recursos naturais – agricultura, produção de *bulk-goods*, mineração (Ibidem). Neste caso, a teoria neoclássica pode oferecer boas explicações²³. Já as atividades econômicas baseadas em conhecimento (computadores, softwares, farmacêutica, aviação, automóveis, equipamentos para telecomunicações, fibra ótica) estão, em grande parte, sujeitas a retornos crescentes (Ibidem). É preciso esclarecer que os retornos crescentes em questão, não estão associados à exemplos estáticos de aumentos de escala²⁴, mas sim à processos de aprendizado, como *learn by doing* (ARROW, 1962) e *learn by using* (ROSENBERG, 1982), e externalidade de rede (KATZ, 1983).

O conceito de retornos crescentes tem estado presente na ciência econômica há muito tempo. Desde Adam Smith, diversos economistas (Kaldor, Myrdal, A. Young, A. Cournot, A. Marshall, E. Chamberlain, J. Robinson) têm usado este conceito para explicar a especialização, crescimento econômico, competição imperfeita, externalidade (ARTHUR, 1990). Contudo, os retornos crescentes foram apenas parcialmente articulados. Isto ocorre por duas razões principais (i) o impacto metodológico provocado pela assunção de retornos crescentes; (ii) as consequências da dinâmica alocativa sob retornos crescentes eram extremamente difíceis de serem analisados matematicamente (Ibidem). A partir da década de 1980, os retornos crescentes passaram a assumir uma posição central em teorias de comércio

²² O sentido de eficiência empregado aqui refere-se a “eficiência no sentido de Pareto” (desenvolvida pelo economista italiano Vilfredo Pareto), isto é, um determinado ponto onde nenhum agente pode melhorar a situação em que se encontra – não pode haver uma melhoria no sentido de Pareto. Ver Varian (2010)

²³ Note que a teoria marginalista é uma generalização da formulação dos retornos marginais decrescentes de David Ricardo, que tinha como objetivo investigar atividades baseadas em recursos.

²⁴ Como indicado por Arthur (1990), economistas modernos não veem aumentos de escala como uma fonte confiável de retornos crescentes. As vezes eles geram retornos crescentes, e outras vezes não.

internacional, crescimento, economia da tecnologia, organização industrial, macroeconomia, economia regional, economia do desenvolvimento e economia política.

É nesse contexto que W.B. Arthur desenvolve uma série de modelos para responder a questão que, em sua opinião, era o principal empecilho para ampla aceitação dos retornos crescentes na ciência econômica: “como um equilíbrio é “escolhido” dentre os diversos equilíbrios existentes em um problema de retornos crescentes? Para isso, Arthur e os estatísticos russos Y. Ermoliev e Y. Kaniovski (1987), introduzem um processo estocástico chamado processo de Polya, que permite modelar uma grande variedade de problemas relacionados aos retornos crescentes. Este processo, como será demonstrado adiante, apresenta quatro propriedades ([i] múltiplos equilíbrios; [ii] possível ineficiência; [iii] *lock-in*; [iv] *path dependence*) que causam sérias implicações metodológicas na ciência econômica.

A fim de deixar a explicação menos abstrata, a guerra comercial do formato VHS, será analisada de forma a elucidar as propriedades emergentes supracitadas. Após ter esclarecido quando e porque essas propriedades ocorrem, será demonstrado suas implicações no pensamento econômico. Na última seção será investigado a implicação do *path dependence* e *lock-in* na metodologia de análise marginalista.

III.1 – As propriedades emergentes da dinâmica alocativa sob retornos crescentes

A abordagem desenvolvida por Arthur (1987) admite a possibilidade de eventos aleatórios, magnificados por feedbacks positivos ou mecanismos auto-reforçadores, selecionarem, probabilisticamente, um dentre os possíveis equilíbrios em problemas de retornos crescentes.

Após algumas tentativas frustradas de encontrar um método matemático que pudesse identificar qual dos múltiplos equilíbrios é “selecionado”, Arthur conheceu, por intermédio do biólogo Joel Cohen, o processo estocástico não-linear chamado urna de Polya²⁵. Este processo consiste em uma urna contendo bolas de duas cores diferentes, vermelha e preta. Em cada estágio, uma bola vermelha ou preta é adicionada; a probabilidade que a nova bola seja

²⁵ O processo tem esse nome em homenagem ao matemático húngaro George Polya (1887-1985), que foi responsável por desenvolver o processo

vermelha é igual a proporção de bolas vermelhas dentro da urna. Em qualquer estágio, a proporção de bolas vermelhas converge para um limite, sendo ele mesmo uma variável aleatória. Suponha que a bola vermelha é retirada aleatoriamente da urna; ela, então, é recolocada na urna e outra bola vermelha é adicionada a urna e uma nova seleção é feita. A probabilidade da bola vermelha ser escolhida é igual a proporção de bolas vermelhas dentro da urna²⁶.

A característica não-linear deste processo interessou fortemente Arthur, contudo eram necessárias algumas modificações para aplica-la na resolução de seu problema²⁷. Com a valiosa ajuda de Ermoliev e Kaniovski, Arthur consegue um método que explique qual equilíbrio é “selecionado”. Assim, em 1983 (edição revisada em 1987), eles lançam um artigo explorando a noção de competição tecnológica por adoção para explorar as propriedades da dinâmica alocativas sob retornos crescentes.

O modelo em questão considera duas tecnologias alternativas, X e Y , brigando por adoção, as duas produzidas sob condições competitivas, e com heterogêneos que vão ao mercado aleatoriamente. Assume-se que cada usuário determina o valor pra cada tecnologia baseado na quantidade vendida de cada mercadoria. Este caso corresponde a uma economia externa à firma e pode ser explicado de diferentes formas. Uma delas é o *learn by using*, que é caracterizada como uma fonte de aprendizagem que emerge da experiência real com o uso de produtos caracterizados por um alto grau de complexidade sistêmica (esta fonte de aprendizado foi analisada originalmente por Nathan ROSENBERG, 1982). A outra é a externalidade de rede, muito comum em tecnologias que exigem compatibilidade de rede. Em outras palavras, a adoção inicial impacta na adoção de usuários futuros. Este processo constitui um *feedback loop*. Assim, uma tecnologia pode acabar ganhando a competição, mas qual irá prevalecer depende da história do sistema.

Note que este exemplo apresenta duas propriedades familiares a problemas que envolvem retornos crescentes (i) múltiplos equilíbrios e (ii) possível ineficiência. Além dessas duas propriedades já conhecidas, há duas novas propriedades inerentes à dinâmica do aprendizado e da adoção. A medida que o tempo passa, o incentivo aos usuários para trocar de tecnologia, torna-se gradualmente inefetivo e a tecnologia adotada torna-se progressivamente mais rígida e inflexível. Além disso, ‘eventos aleatórios’ não são negligenciados pela dinâmica; ao

²⁶ Para uma explicação mais detalhada ver Arrow (2000) e David (2000) e (2007)

contrário, acumulam-se e são magnificados por retornos crescentes. A história tem papel fundamental neste processo, pois pode decidir qual tecnologia é adotada.

Essas duas últimas propriedades são chamadas de (iii) *lock-in* (inflexibilidade) e (iv) *path dependence* (irreversibilidade). A propriedade (iii) é uma forma de descrever a entrada do sistema em uma região de aprisionamento, da qual é impossível escapar sem a intervenção de uma força exterior (DAVID, 2000). Já a propriedade (iv) pode ser definida como uma propriedade cuja distribuição assintótica evolui em função dos processos de sua própria história.

III.2 – A guerra dos formatos: Betamax vs VHS

A disputa por alocação entre os formatos Betamax e VHS, conhecida como “guerra dos formatos”, constitui um ótimo exemplo para ilustrar como eventos aleatórios externos à dinâmica alocativa podem ‘selecionar’ uma tecnologia menos eficiente, que magnificada por *feedbacks* positivos pode controlar o *market-share* de modo a limitar decisivamente a difusão de outras opções mais eficientes.

O mercado de *video cassette recorders* (VCR) iniciou com a competição de dois formatos, VHS e Betamax, o que ficou conhecido como *format war* (guerra do formato). Cada formato poderia ter retornos crescentes à medida em que seu *market share* crescesse, dado que a existência de um grande número de gravadores VHS encorajaria as locadoras vídeo a estocar mais fitas no formato VHS no mercado, aumentando assim o valor de possuir um VHS e levando mais pessoas a compra-lo. O mesmo aconteceria no caso do Betamax. Destarte, um pequeno ganho inicial de *market share* por parte de um dos formatos é retroalimentado, ajudando o formato a aumentar sua liderança e progressivamente levando-o a dominar o mercado.

O formato Betamax foi introduzido em 1975 e o VHS em 1976²⁸. É reconhecido que o formato Betamax tinha uma tecnologia levemente superior, em relação ao formato VHS, que era uma imitação do Betamax (CUSUMANO, 1992). Todavia, essa vantagem tecnológica não

²⁸ Como indicado por Arthur (1994), o processo da urna de Polya é um processo de crescimento que fornece uma probabilidade idêntica as proporções correntes de bola na urna. O que ele queria era um processo de crescimento onde a probabilidade de adição de uma bola seja uma função arbitrária da proporção corrente.

era suficiente para garantir uma difusão mais rápida e um domínio do mercado. O *market-share* flutuou rapidamente devido a circunstâncias externas²⁹. O fator chave para estabelecer o formato VHS como líder do mercado foi gerado pela “externalidade de rede” (Ibidem), isto é, o valor de um dado produto para um usuário é influenciado não só pelas suas capacidades inerentes, mas também pela extensão que outros usuários a usam (KATZ, 1983). Dessa forma, após 1978, o formato VHS passa a ganhar cada vez mais *market-share* até que em 1984 chega a dominar 75% do mercado. A partir daí, as vendas de Betamax começaram uma forte queda rumo à extinção (Ibidem).

Assim, fica evidente como eventos aleatórios acumulados, maximizados por *feedbacks positivos*, podem “selecionar” uma determinada tecnologia. O fato do formato Betamax ser de maior qualidade (melhor imagem e som) não garantiu sua adoção, o que demonstra a ineficiência alocativa do mercado. Além disso foi visto que, uma vez tendo dominado o mercado, torna-se impossível sair do equilíbrio “selecionado” (VHS) sem uma intervenção externa caracterizando a propriedade de inflexibilidade (*lock-in*). Neste caso, o processo culminou em uma “seleção” inflexível e ineficiente, mas como será visto adiante estas duas propriedades não estão necessariamente associadas.

III.3 – *Path dependence*, *lock-in* e suas implicações metodológicas

É comum aos críticos do *path dependence*, associa-lo com o aprisionamento do sistema em um equilíbrio menos eficiente³⁰. Contudo, como foi visto acima, *path dependence* e *lock-in* referem-se a duas propriedades distintas de processos estocásticos. Como foi indicado por Arthur (1989), não há qualquer evidência apontando que um sistema não-ergódico resulte, necessariamente, em falha de mercado, monopólio, ou ainda o monopólio de uma tecnologia inferior. É possível, inclusive, que um sistema *path dependent* resulte em um equilíbrio eficiente no sentido de Pareto³¹. Assim, a ideia de que um processo irreversível implica necessariamente em falhas de mercado ou na ‘seleção’ de equilíbrios inflexíveis, constitui um “flagrante *non sequitur* lógico” (DAVID, 2006, p. 11).

²⁸ Alguns outros formatos (Ampex, RCA, Toshiba, Matsuhita, Sanyo e Philips) foram introduzidos. Contudo, haviam tecnologia inferior ao formatos Betamax e VHS. Ver Cusumano (1992)

²⁹ Maior capacidade de articulação em um mercado de massa global, por parte da JVC (fabricante do VHS), e pouco de “sorte”, visto que O fundador da Sony, fabricante do Betamax, Akio Morita, alegou que problemas de licenciamento dificultaram sua disputa em mercados como Europa e Estados Unidos. Ver Cusumano (1992).

³⁰ Para uma visão crítica sobre *path dependence* ver Liebowitz e Margulis (1994). Para uma visão crítica sobre a crítica, ver David (2005) (2000)

³¹ David (2006) Arthur (1989)

Uma vez tendo feito as devidas diferenciações entre essas duas propriedades, pode-se falar das potenciais conexões entre *path dependence* e a falha alocativa de um mercado competitivo descentralizado, sem possíveis confusões teóricas. A primeira coisa que pode vir em mente ao ler a definição de *lock-in*, é pensar em políticas públicas que possam reverter o aprisionamento do sistema. Neste sentido, a primeira dificuldade em estabelecer uma via alternativa é contemplar um mundo contrafactual cuja o contexto seja o resultado de outro processo evolutivo.

Arthur coloca como possibilidade, a atuação da autoridade central, o Estado, como um “super agente” (ARTHUR, 1989, p. 27) responsável por indicar o melhor caminho a ser seguido. Entretanto, diz Arthur, esta responsabilidade coloca o “super agente” frente ao problema de ter que escolher qual a melhor a tecnologia, e não há qualquer garantia que isso aconteça – até porque órgãos governamentais, atuando sob racionalidade limitada, podem não ter as capacidades cognitivas e as informações para fazer tal escolha. Desta maneira, mesmo sob intervenção planejada, o problema de possível aprisionamento em um curso de desenvolvimento menos eficiente se mantém. Já David (2006), identifica, ao estudar casos clássicos de disputa tecnológica por adoção³², que em geral, a dificuldade encontrada pelos primeiros alocadores era prever onde as complementariedades iriam emergir na sequência, e dessa forma não desenvolveram um sistema mais complexo e distribuído cujo componentes não fossem produzidos ou comprados integralmente. Assim sendo, David afirma que a “primeira melhor” política pública a ser efetuada não é intervenção para fazer a alocação mais eficiente, mas sim um melhoramento na condição do estado informacional em que as decisões possam ser tomadas pelos agentes.

Após fazer a diferenciação entre *path dependence* e *lock-in*, assim como a melhor forma de guiar uma política pública com o intuito de sair ou evitar o ‘aprisionamento’ do sistema, pode-se voltar a atenção ao conceito que caracteriza a dinâmica do sistema. O conceito de *path dependence*, como já foi formalizado aqui, indica que a distribuição assintótica de um processo evolui em função de sua história. Em uma linguagem simples, “a história importa”. Mas, qual o significado dessa afirmação para a ciência econômica, mais especificamente, quais são as implicações de considerar o estado atual do sistema econômico como um desdobramento irreversível de processos e emergências de macroestruturas?

³² Os casos foram: Betamax vs VHS; reatores de usina nuclear; QWERTY; motor a gasolina vs motor a vapor. Ver David (2006)

A resposta para essa pergunta será dividida em duas partes (i) primeiramente, será discutido como a aceitação da história acarreta na mudança de uma visão mecanicista e redutora do sistema econômico para uma abordagem orgânica e holística; (ii) em seguida, serão apresentados as implicações metodológicas em aceitar a economia como um sistema orgânico.

Para demonstrar o impacto da história no sistema econômico é preciso, antes, relembrar algumas implicações de considera-lo um sistema ergódico. Como foi visto, um sistema ergódico independe de sua história, pois sua dinâmica garante que ele convirja para um único equilíbrio globalmente estável independentemente de suas condições iniciais, ou de como chegou até aquele equilíbrio. Isto implica dizer que os processos pelos quais o sistema econômico passa são reversíveis, isto é, o sistema pode transitar, direta ou indiretamente, entre qualquer estado. Assim, o futuro desse sistema é apenas uma extrapolação do passado. Essa estrutura analítica, como foi visto, tem raízes na mecânica clássica e é muito importante por, supostamente, dar a possibilidade de previsão do comportamento futuro do sistema. Destarte, a assunção de ergodicidade constitui um importante reducionismo metodológico, visto que o futuro do sistema é apenas uma projeção do seu passado.

A vantagem da hipótese de ergodicidade, escreve Robert Lucas (*Apud* Bookstaber 2017: 42), reside em

“como os ciclos econômicos podem ser vistos como instâncias repetidas de eventos essencialmente similares, é razoável tratar os agentes como se estivessem reagindo às mudanças cíclicas como ‘risco’, ou assumir que suas expectativas são racionais, que eles tem formas eficientes e estáveis de coletar e processar informação, e que eles utilizam essa informação para prever o futuro de uma forma estável, livre de viés sistêmico e facilmente corrigível”³³

Dito isto, pode-se demonstrar o impacto do *path dependence* na interpretação do sistema econômico. Aceitar a importância da história implica aceitar a economia como um sistema aberto, suscetível a perturbações aleatórias, conseqüentemente implica dizer que seu estágio atual, assim como seu estágio futuro, é fruto de um processo evolucionário irreversível

³³ “as business cycles can be viewed as repeated instances of essentially similar events, it will be reasonable to treat agents as reacting to cyclical changes as “risk,” or to assume their expectations are rational, that they have fairly stable arrangements for collecting and processing information, and that they utilize this information in forecasting the future in a stable way, free of systemic and easily correctable biases”

provocado tanto por choques exógenos quanto pela evolução dos seus próprios agentes, ambos reforçados por *feedbacks* positivos. Em última instância, significa dizer que o sistema econômico está vivo.

Em um sistema econômico dependente da história de seus processos, o futuro não é um mero reflexo de seu passado, mas sim o resultado de um “mix” entre perturbações externas e a constante adaptação dos seus agentes, reforçados por *feedbacks* positivos. Isto implica necessariamente na existência de incerteza fundamental, pois os agentes, diferentemente do que ocorre em modelos ergódicos, simplesmente não sabem o que vai acontecer no futuro. Posto isto, mesmo que o comportamento dos agentes sejam resultados de cálculos racionais baseados em condições correntes, as particularidades desse contexto são consequência de eventos anteriores (David, 2006, p. 03). Logo, mesmo sob a assunção irrealista de agentes racionais, não há qualquer indicio que aponte necessariamente para uma alocação eficiente.

Dessa forma, fica evidente que aceitar o *path dependence* resulta em serias implicações metodológicas. Torna-se impossível prever o futuro do sistema através de amostras eventos passados. Logo, em contradição com a passagem de Lucas, não é razoável supor que os agentes sejam racionais ou que eles reagem a mudança como ‘risco’. Por último, torna-se claro que o método de previsão do futuro baseado em amostras passadas é enviesado, mesmo que haja total acesso a informação visto que a evolução dos agentes e a influência de perturbações externas não são consideradas.

Isto implica diretamente na forma como a linguagem matemática é utilizada para descrever o sistema econômico. A matemática tradicionalmente utilizada na ciência econômica é antiquada para entender a dinâmica do sistema econômico, pois como foi visto, é limitada a existência de um único ponto de equilíbrio resultado da atuação de *feedbacks* negativos responsáveis por dissipar continuamente os choques exógenos. Logo, não há espaço para a emergência e dissipação de novas ou antigas estruturas. Em outras palavras, a matemática tradicionalmente utilizada na análise econômica não concede espaço para mudança. Isto constitui uma enorme “mutilação” da complexidade do mundo real.

Dentro desse tipo de formulação matemática, o comportamento dos agentes é limitado a ações que já foram feitas em algum momento, inclusive repetição dos mesmos erros. Em

outras palavras, a adaptação dos agentes (sejam eles consumidores, firmas, bancos ou o Estado) não é levada em consideração. Portanto, em um mundo onde o estado presente é resultado de um processo evolutivo, este tipo de formulação matemática não é capaz de gerar boas respostas, pois os agentes tem como característica principal a evolução por processos de aprendizado.

Assim, a assunção de ergodicidade do sistema econômico tem raízes na mecânica clássica, caracterizada pela existência de uma única solução de equilíbrio predeterminado por recursos naturais, geografia, população, preferência dos consumidores e possibilidades tecnológicas (Arthur,1994, p. 11). Dada as possibilidades tecnológicas futuras, os agentes são capazes de prever acuradamente a trajetória da economia. Nessa visão, perturbações aleatórias, como os choques do petróleo na década de 1970, são rapidamente eliminadas por feedbacks negativos. Entretanto, a aceitação da história, implica em uma mudança de direção na interpretação do sistema econômico, que passa a ser mais orgânica, aberta a perturbações aleatórias magnificadas pela influência de feedbacks positivos, onde os agentes estão em constante adaptação. Em outras palavras, o sistema econômico passa a ser um sistema dinâmico, um sistema de múltiplas probabilidades, caracterizado pelo seu estado de desequilíbrio comum a todos os sistemas vivos.

IV – OBSERVAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso investigou o que é o paradigma redutor e a descrição mecanicista, que implica na análise do universo como um sistema morto. Logo em seguida argumentou-se que a ciência da complexidade surge como uma antítese desse método. Foi visto que enquanto o paradigma redutor busca uma descrição mecânica, determinística, sem influência da história e presa ao estado de equilíbrio; a ciência da complexidade busca uma descrição orgânica, vivendo em um “mix” entre determinismo e aleatoriedade, dependente de seus processos históricos e que por estar aberto e em constante interação com seu ambiente, opera em um estado longe do equilíbrio, característica essencial dos sistemas vivos.

Foi visto também, por meio da revisão bibliográfica dos principais protagonistas da revolução marginalista, que o paradigma redutor teve forte influência nessa revolução. Foi dito que essa influência resultou em uma abordagem mecanicista do sistema econômico, fechado para o ambiente que o rodeia, dominado por *feedbacks* negativos que conduzem o sistema ao seu equilíbrio, onde a história não possui qualquer relação com o comportamento futuro. Em seguida argumentou-se que assim como a ciência da complexidade representou uma antítese do paradigma redutor, a economia da complexidade representa uma antítese da abordagem marginalista. Dessa forma, as características supracitadas da análise mecanicista deram lugar à uma interpretação orgânica do sistema econômico, onde *feedbacks* positivos não só existem como podem magnificar eventos aleatórios ocorridos na história do sistema, o levando ao fato de que a história passa a ser fundamental para a compreensão do sistema econômico. Assim, onde antes o estado de equilíbrio predominava, passa a existir a ideia do estado fora de equilíbrio, resultado da interação com o ambiente e dos processos endógenos ao sistema, caracterizando o sistema econômico como um sistema vivo. Em seguida demonstrou-se como o desequilíbrio é gerado endogenamente através da incerteza e da inovação tecnológica, ambos com a característica auto reforçadora das interações econômicas.

Por fim, foi demonstrado, através de uma explicação não matemática e um exemplo real de competição entre duas tecnologias, como a dinâmica alocativa sob retornos crescentes resulta em (i) existência de múltiplos equilíbrios; (ii) possível ineficiência, (iii) *lock-in* ; (iv) *path dependence*. Posteriormente, analisou-se a implicação das duas últimas propriedades sobre (i) como a aceitação da história acarreta na mudança de uma visão mecanicista e redutora do sistema econômico para uma abordagem orgânica e holística; (ii) a metodologia de análise

marginalista. Constatou-se que a aceitação da história, implica em uma mudança de direção na interpretação do sistema econômico, que deixa de mecanicista, determinista, ergódico, em equilíbrio e “morto” e passa a ser orgânica, aberta a perturbações aleatórias magnificadas pela influência de feedbacks positivos, onde os agentes estão em constante adaptação. Em outras palavras, o sistema econômico passa a ser um sistema dinâmico, um sistema de múltiplas probabilidades, caracterizado pelo seu estado de desequilíbrio comum a todos os sistemas vivos. Constatou-se também que essa transformação de mecânico para orgânico (resultado da incorporação da importância da história), implica em sérias consequências metodológicas, pois como o futuro deixa de ser apenas uma representação do passado, os agentes agem sob incerteza fundamental e mesmo que o comportamento dos agentes sejam resultados de cálculos racionais baseados em condições correntes, as particularidades desse contexto são consequência de eventos anteriores. Assim, torna-se impossível prever o futuro do sistema através de amostras eventos passados, o que implica diretamente na forma como a linguagem matemática é utilizada para descrever o sistema econômico.

V - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, W. Philip; ARROW, J. Kenneth & PINES, David. **The Economy as a Complex Envolving System**. Santa Fe Institute Series, 1987.

ARROW, J. Kenneth. The Economics Implications of *Larn by Doing*. **The Review of Economic Studies**, Volume 29, n. 03, p. 155-173, 1962.

_____. Increasing Returns: Historiographic Issues and Path Dependence. **The European Journal of the History of Economic Thought**, Volume 07, n. 02, 171-180, 2000.

ARTHUR, W. Brian; ERMOLIEV, M. Yuri & KANIOVSKI, M. Yuri. Path-Dependent Processes and the Emergence of Macrostructure. 1987. Em: ARTHUR, W. Brian (org.). **Increasing Returns and Path Dependence in the Economy**. The University of Michigan Press, 1994.

ARTHUR, W. Brian. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Small Events. 1989. Em: ARTHUR, W. Brian (org.). **Increasing Returns and Path Dependence in the Economy**. The University of Michigan Press, 1994.

_____. “Positive Feedbacks in the Economy”. 1990. Em: ARTHUR, W. Brian (org.). **Increasing Returns and Path Dependence in the Economy**. The University of Michigan Press, 1994.

ARTHUR, W. Brian; DURLAUF, N. Steven & LANE, A. David. Process and Emergence in the Economy. 1997. Em: ARTHUR, W. Brian (org.). **Complexity and the Economy**. Oxford University Press, 2014.

ARTHUR, W. Brian. “Complexity Economics: A Different Framework for Economic Thought”. 2014. Em: ARTHUR, W. Brian (org.). **Complexity and the Economy**. Oxford University Press, 2014.

ARTHUR, W. Brian. **The Nature of Technology: What it is and How it Evolves**. Penguin Books, 2009.

BEINHOCKER, Eric. **The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics**. Harvard Business School Press, 2009

BERTALANFFY, Ludwin von. **General System Theory**. George Brazziler, 1968.

BOOKSTABER, Richard. **The End of Theory**. Princeton University Press, 2017.

CAPRA, Fritjof. **O Ponto de Mutação**. Editora Cultrix, 1982.

_____. **A Teia da Vida**. Editora Cultrix, 1996.

COLANDER, David; HOLT, P.F. Richard & ROSSER, J. Barkley, JR. “The Changing Face of Mainstream Economics”. **Review of Political Economy**, Volume 16, n. 4, 485-499, Outubro 2004.

COLANDER, David; KUPERS, Roland. **Complexity and the Art of Public Policy**. Princeton University Press, 2014.

CUSUMANO, A. Michael; MYLONADIS, Yiorgos & ROSENBLOOM, S. Richard. "Strategic Maneuvering and Mass-Market Dynamics: The Triumph of VHS over Beta". **The Business History Review**, Volume 66, 51-94, 1992.

DAVID, A. Paul. "Path dependence, its Critics and the Quest for 'Historical Economics'". 2000. Em: GARROUSTE, Pierre; IOANNIDES, Stavros. **Evolution and Path Dependence in Economic Ideas: Past and Present**. Edward Elgar Publishing, 2000.

DAVID, A. Paul. Path Dependence – A Foundational Concept for Historical Social Science. **The Journal of Historical Economics and Econometric History**, Volume 1, n.2, 2007.

ETYMONLINE. Online Etymology Dictionary, 2019. Disponível em: <<https://www.etymonline.com/word/complex>>. Acesso em: 04 de Fev. de 2019.

FARMER, J. Doyne. "Economics Needs to Treat the Economy as a Complex System". Artigo elaborado para INET **'Rethinking Economics and Politics**, 2012.

FOERSTER, Heinz Von. **Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition**. Springer, 2003.

FOLLONI, André. **Introdução à Teoria da Complexidade**. Editora Juruá, 2016.

FONTANA, Magda. The Complexity Approach to Economics: a Paradigm Shift. **Dipartimento di Economia "S. Cagnetti de Martiis", Working Paper Series**, n.01, 2008.

HOLLAND, John. **Complexity: A Very Short Introduction**. Oxford University Press, 2013.

JANTSCH, Erich. **The Self-organizing Universe**. Pergamon Press, 1982.

KATZ, M. L.; SHAPIRO, C. Network Externalities, Competition, and Compability. **Discussion Paper, n. 96**, Princeton: Woodrow Wilson School, 1983.

KEYNE, M. John. **The General Theory of Employment, Interest and Money**. Palgrave Macmillan, 1936.

KIRMAN, Alan. The Economic Crisis is a Crisis for Economic Theory. **CESifo Economic Studies**, Volume 56, n. 04, 498-535, 2009.

KUHN, S. Thomas. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Editora Perspectiva, 1991.

LIEBOWITZ, J. Stan; MARGOLIS, E. Stephen. "Path Dependence, Lock-in, and History". **Journal of Law, Economics and Organization**, Volume 11, n.01, 1995.

LORENZ, Edward. Predictability: Does The Flap Of A Butterfly's Wings In Brazil Set Off A Tornado In Texas?. **139th Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science**, 1972.

MORIN, Edgar. **Introdução ao Pensamento Complexo**. Editora Sulina, 2011.

MIROWSKI, Philip. Physics and the 'Marginalist Revolution'. **Cambridge Journal of Economics**, Volume 08, n. 04, 361-379, 1984.

MITCHELL, Melanie. **Complexity: A Guided Tour**. Oxford University Press, 2009.

MITCHELL, Melanie. **Guest spot: W.B. Arthur, Models of cooperation in Social Systems**. Curso de *Introdução à Complexidade*, aula 8.5, Santa Fe Institute, Jun. 2018 – Mar. 2019. Disponível em: <<https://www.complexityexplorer.org/courses/89-introduction-to-complexity/segments/6916>>. Acesso em: 15 de Abr. de 2019.

ODUM, P. Eugene. **Fundamentals of Ecology**. Saunders, 1953

POINCARÉ, Henri. **Ciencia y Método**. Austral, 1963

PRIGOGINE, Ilya. **As Leis do Caos**. UNESP, 2002

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature**. Bantam Books, 1984.

RANDALL, H. John. **The Making of the modern mind**. Columbia University Press ,1976

ROSENBERG, Nathan. **Inside the Black Box: Technology and Economics**. Cambridge University Press, 1982.

SANTA FE INSTITUTE. **A General Q & A About Complexity Economics**. Santa Fe Institute, Santa Fe, Jan. 2018. Disponível em: <<http://tuvalu.santafe.edu/~wbarthur/complexityeconomics.htm>>. Acesso em: 06 de Abr. de 2019.

SCHUMPETER, Joseph. **The Theory of Economic Development** (1912). Oxford University Press, 1962

STROGATZ, H. Steven. **Nonlinear Dynamics and Chaos**. Perseus Books Publishing, 1994.

WALDROP, Mitchell. **Complexity: The Emerging Science At The Edge Of Order And Chaos**. Touchstone, 1992.

WEAVER, Warren. 1948. Science and Complexity. **American Scientist**, n. 36, p. 536-544, 1948.

WEISS, Ekke. Fundamentals of Complex Evolving Systems. **Social Ecology Working Paper 104**, 2008.

WIENER, Norbert. **Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine**. The Massachusetts Institute of Technology Press , 1965.