

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós-graduação em Ciência Política

Marco Paulo Soares Gomes

**POLÍTICA INTERNACIONAL, MODELAGEM E SIMULAÇÃO: uma abordagem
por sistemas adaptativos complexos**

Belo Horizonte
2007

Marco Paulo Soares Gomes

**POLÍTICA INTERNACIONAL, MODELAGEM E SIMULAÇÃO: uma abordagem
por sistemas adaptativos complexos**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência Política da
Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito parcial à obtenção do título
de Mestre em Ciência Política.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Pinheiro
Wanderley Reis

Belo Horizonte
2007

320	Gomes, Marco Paulo Soares.
G633p	Política internacional, modelagem e simulação
2007	[manuscrito] : uma abordagem por sistemas adaptativos complexos / Marco Paulo Soares Gomes. - 2007.
	69 f.
	Orientador: Bruno Pinheiro Wanderley Reis.
	Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.
	Inclui bibliografia.
	1. Ciência política – Teses. 2. Política internacional.- Teses. I. Reis, Bruno Pinheiro W. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas. III. Título.



Universidade Federal de Minas Gerais
FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA POLÍTICA
Av. Antônio Carlos, 6627 – Caixa Postal 253 - Cidade Universitária - Pampulha
31270-901 - Belo Horizonte – MG / e-mail: mestdcp@fafich.ufmg.br
TELEFAX: (31) 3499-5030

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA POLÍTICA, REALIZADA NO DIA 07/12/2007.

Aos 07 (sete) dias do mês de dezembro de 2007 (dois mil e sete), às 9:00 horas, na sala 2094 do Departamento de Ciência Política da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da UFMG, reuniu-se a banca examinadora da dissertação intitulada **“Política Internacional, Modelagem e Simulação: uma abordagem por sistemas adaptativos complexos ”** . Elaborada pelo aluno **Marco Paulo Soares Gomes**. Compuseram a banca examinadora os professores **Bruno Pinheiro Wanderley Reis** (Orientador), **Antonio Fernando Mitre Canahuati**, do Departamento de Ciência Política (UFMG) e **Salvador Ghelfi Raza** (CETRIS, FACAMP, National Defense University). Após arguição oral do aluno, os membros da banca examinadora deliberaram pela aprovação da referida dissertação, obtendo assim o aluno o título de Mestre em Ciência Política. Para constar foi lavrada a presente ata, que será assinada pelos membros presentes.

Belo Horizonte, 07 de dezembro de 2007

Prof Bruno Pinheiro Wanderley Reis .
(Orientador-DCP)

Prof. Antonio Fernando Mitre Canahuati
(DCP/UFMG)

Prof. Salvador Ghelfi Raza
(CETRIS, FACAMP, National Defense University)

À Fernanda Malloy

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é um marco importante de uma carreira em transição. Eu não teria conseguido se não fossem aqueles aos quais agradeço agora e sempre.

Ao medo, sentimento estranho... constantemente dizendo que você não vai conseguir. Sem ele a força da superação não se faria presente.

Ao meu professor e orientador Bruno Reis por ter aceitado o desafio de orientar tema tão incomum na Ciência Política brasileira. Obrigado pela disponibilidade 24 horas por dia, 7 dias na semana e pela paciência de ter como orientando uma pessoa muitas vezes ausente. Obrigado por ter acreditado que eu conseguiria. Seu apoio foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Ao Colegiado do Curso de Graduação em Relações Internacionais da PUC Minas, na pessoa dos professores Javier Vadell, Júlio Buere e Eduardo Neves-Silva, por ter me concedido o tempo necessário para a finalização deste trabalho.

Aos professores Eugênio Diniz e Paulo Esteves pelo apoio indispensável à minha inserção na academia.

Ao colega e amigo, Túlio Ferreira, que muito gentilmente emprestou-me seu *notebook* para que eu pudesse me “isolar” de minha residência e de meu trabalho para que, de maneira intensiva, concluísse este trabalho. Agradeço o apoio, o incentivo, as primeiras leituras dos capítulos e a disponibilidade em ouvir-me tantas vezes sobre as questões contidas neste trabalho.

Aos meus pais, sogra, irmãos, cunhados, cunhadas e sobrinhas minhas desculpas pela impaciência, muitas vezes presente, e pela minha constante ausência justificada pela elaboração deste trabalho. Foi o apoio de vocês à minha esposa e filho, que permitiram que eu me afastasse com tranquilidade para concluir este trabalho.

Ao meu filho, João Pedro, que com apenas três meses de idade não faz a menor ideia porque muitos se envolvem em empreitadas como esta, o meu obrigado por ter sido o incentivo que faltava para que seu pai terminasse este exercício.

À minha esposa, amiga e companheira, Fernanda, agradeço o apoio incondicional dado à minha reorientação profissional, que se consolida com esta dissertação. A você, minhas desculpas pela constante ansiedade causada pelo adiamento frequente do término deste trabalho e pela privação familiar e social a que ele, muitas vezes, me obrigou.

A você dedico este trabalho.

*É fazendo que se
aprende a fazer aquilo que se
deve aprender a fazer.*

Aristóteles

*Não; não pares. É graça divina
começar bem. Graça maior persistir
na caminhada certa, mas a graça das
graças é nunca desistir e chegar até o
fim.*

Dom Helder Câmara

Resumo

O mundo contemporâneo se caracteriza por um emaranhado de relações interdependentes que envolvem não só governos nacionais, mas, também, governos subnacionais, empresas multinacionais, organizações não-governamentais e organizações internacionais, entre outros. Isto tem produzido fenômenos emergentes difíceis de serem analisados pelas teorias e métodos tradicionais da Política Internacional. Para responder a estes eventos, um novo paradigma tem recebido atenção por parte de alguns estudiosos. Ele é conhecido por complexidade, que interpreta arranjos, como os da Política Internacional, como sistemas complexos. Uma forma central destes sistemas são os sistemas adaptativos complexos, constituídos por agentes adaptativos e inteligentes que estabelecem interações entre si, em um determinado local e a partir de um conjunto de regras. Devido às suas propriedades e mecanismos, tais como não-linearidade, agregação e modelos internos, os métodos tradicionais dedutivos não se mostram suficientes para tratar tais sistemas. Assim, simulações computacionais de modelagem baseada em agentes começam a ser utilizadas para analisar os fenômenos da Política Internacional.

Palavras-chave: Política Internacional. Modelagem. Simulação. Complexidade. Sistemas adaptativos complexos. Modelagem baseada em agentes.

Abstract

The contemporary world is characterized by a intricacy interdependent relations that fold not only national governments but, also, sub-national governments, multinational corporations, non-government organizations and international organizations, among others. This has been producing emerging phenomena difficult of be analyzed by the theories and traditional methods of the International Politics. To answer to these events, a new paradigm has been receiving attention on the part of some scholars. It is known by complexity, that interprets arrangements, as the one of the International Politics, as complex systems. A central form of these systems is the complex adaptive systems, constituted by adaptive and intelligent agents that establish interactions amongst themselves, in a certain place and under a group of rules. Due to their properties and mechanisms, such as nonlinearity, aggregation and internal models, the deductive traditional methods are not shown enough to treat such systems. Then, computational simulations of agent-based modeling have been used to analyze the phenomena of the International Politics.

Keywords: International Politics. Modeling. Simulation. Complexity. Complex adaptive system. Agent-based model.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	SIMULAÇÃO	15
2.1	Simulação e o Uso de Recursos Computacionais	17
2.2	Modelos	18
2.3	Simulação e Jogos	23
2.4	Os Usos das Simulações.....	24
2.5	A Simulação no Estudo da Ciência Política e da Política Internacional	26
3	COMPLEXIDADE, SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEXOS E MODELAGEM BASEADA EM AGENTES	33
3.1	Complexidade e Sistemas Complexos	34
3.1.1	Sistemas Complexos: propriedades	36
3.1.1.1	<i>Irredutibilidade</i>	36
3.1.1.2	<i>Emergência</i>	37
3.1.1.3	<i>Instabilidade</i>	37
3.1.1.4	<i>Não-linearidade</i>	37
3.1.1.5	<i>Adaptação</i>	38
3.2	Sistemas Adaptativos Complexos	41
3.2.1	Agregação	45
3.2.2	Tagging ("rotulação")	46
3.2.3	Não-linearidade	46
3.2.4	Fluxos	47
3.2.5	Diversidade	48
3.2.6	Modelos Internos	48
3.2.7	Blocos de Montagem.....	48
3.3	Modelagem baseada em Agentes.....	49
4	COMPLEXIDADE E POLÍTICA INTERNACIONAL	55
4.1	Simulação e Modelagem baseada em Agentes na Política Internacional	61
4.2	Limites, Fraquezas e o Problema da Validação	64
5	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS.....	75

1 Introdução

Este trabalho caracteriza-se como uma “tese de compilação”, que nos termos de Umberto Eco “constitui um ato de seriedade da parte do jovem pesquisador que, antes de propriamente iniciar a pesquisa, deseja esclarecer algumas idéias” (ECO, 1999, p. 3). Portanto, não há uma pergunta a ser respondida e nem hipóteses a serem demonstradas. O que se deseja é entender e discutir afirmações tais como as seguintes:

The major reason for social scientists becoming increasingly interested in computer simulation [...] is its potential to assist in discovery and formalization. [...] computer simulation has a similar role in the social sciences to that of mathematics in the physical sciences. (GILBERT e TROITZSCH, 2002, p. 5)

There is no more powerful tool to help us understand the current and future problems of our society. (MCLEOD, 1973b, p. 77)

There are a lot of myths about models. I think many people feel threatened by models, because they imagine that when you give a model, you are proposing to replace judgments with some sort of computer device. And that's not the case at all. [...] They can certainly make our judgments better informed. They can incorporate the best expertise and data in a rigorous way. But they don't replace judgment, and they don't eliminate uncertainty. They can help us bound the uncertainties. They can help us identify which uncertainties are actually the most important, and they can suggest what data need to be collected. But there will be a role for judgment, and there will be uncertainty in areas certainly as complex as those we are discussing here today. (EPSTEIN, 2007)

Assim sendo, temos o objetivo geral de compreender a complexidade, particularmente, os sistemas adaptativos complexos, e a sua aplicação ao estudo da Política Internacional. Discutiremos, de maneira geral, o uso de simulações e modelagens como metodologia de pesquisa por cientistas políticos e, especificamente, a maneira como este método tem utilizado, mais recentemente, as técnicas de modelagem baseada em agentes, sob a perspectiva dos sistemas adaptativos complexos, e como elas têm contribuído para avanços nos estudos da área. Portanto, são nossos objetivos específicos conhecermos os conceitos básicos de modelagem e simulação, mais particularmente a simulação computacional e a

modelagem baseada em agentes, e as possibilidades de aplicá-las à perspectiva daqueles sistemas e à pesquisa na Política Internacional.

Para tanto, o trabalho está estruturado da seguinte forma. No primeiro capítulo apresentamos os conceitos básicos de simulação, de modelagem, de jogos e da relação entre eles. Abordamos, também, o uso dado às simulações para concluirmos, ao final, como esta metodologia pode ser aplicada ao estudo da Ciência Política e da Política Internacional. Faremos uma conjunção de conceitos, métodos e procedimentos que estão dispersos em bibliografias diversas aplicadas às Ciências Sociais e que mais recentemente vêm sendo utilizadas pela Ciência Política.

No segundo capítulo, é dada ênfase ao entendimento da complexidade (*complexity*) e os elementos que a compõem colocando em destaque a noção de sistemas adaptativos complexos (*complex adaptive systems*). Para compreendê-los, explicamos as propriedades e os mecanismos inerentes ao funcionamento daqueles sistemas. Ao final, apresentamos um dos métodos que têm se destacado no tratamento deste tipo de sistema, a modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling*).

No terceiro e último capítulo, vemos como os estudiosos da Política Internacional têm incorporado em suas pesquisas a noção de sistemas adaptativos complexos e como têm se utilizado da modelagem baseada em agentes. Fazemos uma breve revisão bibliográfica sobre a produção naquela área. Em seguida, vemos exemplos aplicados de simulação computacional e daquele tipo de modelagem no estudo da Política Internacional. Por fim, tratamos dos limites, das fraquezas e do problema da validação quando se trata da utilização desta modalidade metodológica.

Neste trabalho não nos interessa discutir a matemática por trás da formalização de modelos, *softwares*, e muito menos linguagens de programação. Kumar, em sua resenha do livro “Exploring Realpolitik: Probing International Relations Theory with Computer Simulation”, destaca que os seus autores

Cusack and Stoll hold that computer simulation can often allow for a more straightforward examination of the model's dynamics than can a

mathematical representation. They also argue that an additional advantage of the simulation model is that it can be used as a 'deduction machine,' for the simple reason that the assumptions of a theory can be programmed and the running of the simulation can show the consequences. Mathematical representation is often seen as quite difficult. A final advantage of computer simulation is said to be an explicit measure of human ignorance that can be systematically incorporated into the model. Here lies the scope for creativity of the intellect and the human mind which often draws inspiration from the real or perceived changes in the national and global environment." (KUMAR, 1993, p. 834-835)

A todo momento, durante a elaboração deste trabalho, nos deparamos com diversas bibliografias que não distinguem os termos "Política Internacional" e "Relações Internacionais". O intercâmbio entre eles era constante muitas vezes utilizado apenas como uma forma de variar expressões para que não se tornassem repetitivas ao longo do texto. Portanto, vamos aqui diferenciá-los e explicar a que se refere o termo "Política Internacional" constante no título deste trabalho. Para tanto utilizaremos as definições de John Baylis e Steve Smith (2006).

Para eles Política Internacional e Relações Internacionais são nomes tradicionais utilizados para descrever os tipos de interação e processos entre Estados, corporações internacionais, organizações não-governamentais, organizações internacionais, grupos terroristas, entre outros. No entanto, os autores preferem utilizar o termo World Politics, que, segundo eles, é mais inclusivo do que os outros termos.

It is meant to denote the fact that our interest is in the politics and political patterns in the world, and not only those between nation-states (as the term international politics implies). Thus, we are interested in relations between organizations that may or may not be states (such as, for example, multinational companies, terrorist groups, or human rights non-governmental organizations (NGOs); these are all known as transnational actors). (p. 3)

O termo Relações Internacionais lhes parece muito exclusivo, embora represente a amplitude desejada por eles que é de extrapolar as relações políticas entre os Estados. Mas é restrita ao se focar somente nas relações entre as nações. Para eles as relações entre cidades e organizações governamentais e internacionais são igualmente importantes. Assim, eles preferem caracterizar as relações políticas que lhes interessam como World Politics. É a esta conotação que o termo Política

Internacional no título deste trabalho se refere. Preferimos não traduzi-lo para “política mundial” por não ser um termo muito utilizado pelos estudiosos brasileiros.

Portanto, para nós, Política Internacional se refere à ampla variedade de relações que caracterizam o mundo contemporâneo, sendo muitas delas entre Estados, mas muitas outras não.

2 Simulação

A palavra “simulação” vem do latim “simulare” e significa imitar, repetir, representar a realidade. Simular é uma forma de entender a realidade reproduzindo-a. Ela está presente em casa, quando nos divertimos no computador com um simulador de vôo; em sala de aula, quando professores de negociação elaboram jogos que envolvam estudantes em exercícios que lhes permitam entender processos de tomada de decisão; em empresas, quando a produção analisa um novo processo de fabricação ou quando a diretoria estuda cenários futuros para pensar estrategicamente o seu negócio; no futebol, quando o técnico treina o seu time reproduzindo possíveis jogadas que poderão ser armadas na próxima partida; no exército, quando um comando executa um exercício militar; e mesmo em um grupo de crianças, quando brincam de “casinha” imitando o comportamento de seus familiares.

Estes são alguns exemplos que ilustram o fato de a simulação estar presente em grande parte do dia a dia da vida social. Utilizada na Economia, na Psicologia, na Física, na Engenharia, nas ciências do comportamento, na Educação, nas Ciências Sociais, para citar algumas, a simulação já foi considerada mais uma arte do que uma ciência. John McLeod fez tal observação em 1973 e defendeu a idéia de que seria bom se os praticantes dessa arte aplicassem princípios científicos em seus trabalhos (MCLEOD, 1973b, p. 77).

Por ser utilizado em diversas áreas, o conceito se altera dependendo do tipo de aplicação que se dá a ela. Vejamos algumas definições:

Simulation is a general approach to the study and use of models. As such it furnishes an alternative approach to that offered by conventional mathematical techniques. In using conventional mathematical techniques to solve a model the objective is to determine, deductively and with generality, the way in which the model implicitly relates endogenous variables to initial conditions, parameters, and time paths of exogenous variables. (ORCUTT, 1960, p. 893)

In popular usage the term sometimes refers to the assumption of the appearance of something without having its reality. [...] In this very broad meaning of the word any construction of a ‘model,’ whether symbolic (pictorial, verbal, mathematical) or physical might be termed simulation. [...] Simulation, as a social science research technique,

refers to the constructions and manipulation of an operating model, that model being a physical or symbolic representation of all or some aspects of a social or psychological process. Simulation, for the social scientist, is the building of an operating model of an individual or group process and experimenting on this replication by manipulating its variables and their interrelationships. (DAWSON, 1962, p. 1-3)

Simulation is an operating representation of central features of reality. Simulations may take the form of war games, of pilot chemical plant, of ship-and-harbor scale models, of computer-inventory systems. (GUETZKOW, 1962b, p. 83)

“Simulation” is a term now generally employed to denote an approach to the construction of theories that makes essential use of computers and computer-programming languages. (NEWELL e SIMON, 1968, p. 263)

[Simulation] consists of an abstract representation of the more important features of the situation to be studied, designed to be played through in time either by hand or by computer. (DALKEY, 1968, p. 241)

Simulation is the development and use of models to aid in the evaluation of ideas and the study of dynamic systems or situations. (MCLEOD, 1973a, p. 8-9)

[...] simulation basically means that one creates a model of reality by means of quantification of notions and actions. This model will evolve by means of algorithms or personal decisions. In this way one constructs an artificial reality that should be able to evolve in a similar way to the reality it represents. This gives us the opportunity to investigate alternatives without actually really undertaking them. (MIELANTS e MIELANTS, 1997, p. 294)

Simulation is a particular type of modelling. (GILBERT e TROITZSCH, 2002, p. 2)

Este conjunto de definições é suficiente para mostrar que – para além dos agentes que usualmente o habitam – o próprio conceito aqui em referência tem capacidades adaptativas, uma vez que assume significados diferentes para cada uma das situações nas quais se envolve. Há concepções enunciadas nas décadas de 60, 70, 90 e no início do século XXI. Atenção deve ser dada a estas datas para mostrar que, independentemente da época, há alguns elementos comuns às definições acima que estão tipicamente presentes quando o assunto é simulação. São eles: modelo, jogos e computadores. Isto acaba dotando o termo “simulação” de um carácter híbrido. Como a própria literatura mostra, não há problemas evidentes em usar um termo para falar de outro. No entanto, embora o enfoque deste trabalho se situe no âmbito da

simulação computacional, é importante esclarecer a relação existente entre simulação e aqueles elementos. É o que faremos nos próximos itens deste capítulo.

2.1 Simulação e o Uso de Recursos Computacionais

Nos dias de hoje, com a disseminação da tecnologia e o acesso facilitado aos computadores, muitos entendem que simulação só se faz através destas máquinas. Isto é um equívoco, haja vista que, conforme exemplificado, no início deste capítulo, nem todas as situações consideram a presença de um computador. O que tem acontecido é que, com o avanço tecnológico, o uso de computadores tem se tornado cada vez mais comum no dia a dia das pessoas que objetivam tornar mais produtivo o seu trabalho. E isto não é diferente entre aqueles que dedicam suas atividades profissionais ao entendimento dos fenômenos sociais. Programas variados fazem parte do ferramental de trabalho cotidiano de pesquisadores.

Assim, a utilização de computadores acabou contribuindo também para a crescente sofisticação tecnológica das simulações. Assim, tornou-se comum atrelar a noção de simulação a computadores.

O próprio McLeod diz que é muito freqüente o intercâmbio dos termos “simulação” e “modelagem computacional”. Ele admite que comete tal intercâmbio e justifica dizendo que “most of the simulations with which we are concerned are based on computer models” (1973a, p. 8). No entanto, prefere diferenciar os dois termos:

Simulation is the use of a model (not necessarily a computer model) to carry out experiments designed to reveal certain characteristics of the model and by implication of the idea, system, or situation modeled.

Computer modeling is the programming of a computer to exhibit selected characteristics similar to those of a real-world or hypothesized system or situation.

Desde a década de 60, computadores têm sido utilizados por pesquisadores em seus estudos para entender o comportamento humano. Em 1964, a própria IBM deu nome a um simpósio sobre simulação como o “*Proceedings of the IBM Scientific Computing Symposium on Simulation Models and Gaming*” (COPLIN, 1968, p. vii). O acesso a

estas máquinas, ainda com velocidade de processamento reduzida, não era comum, e universidades, centros de pesquisa e empresas alocavam estes recursos para estudiosos envolvidos em diferentes tipos de pesquisa. Naquela época, Dalkey considerava que as maiores desvantagens das simulações eram os fatos de elas serem “slow and expensive and the range of cases that can be treated is highly limited.” (1968, p. 241)

Como exemplo da produção de estudos baseados em utilização de computadores podemos citar a obra de William D. Coplin, que em 1968 editou o livro “Simulation in the Study of Politics”. Nele simulações de diversas naturezas estão relatadas no estudo de relações internacionais (ALKER JR.; CLEMENS JR.; GUETZKOW), de relações urbanas (CRECINE; RAY e DUKE), de comportamento organizacional (MOORE; ZALD e SCHLIEWEN), de eleições (COOMBS, FRIED e ROBINOVITZ; ROSENTHAL), de recrutamento político (BROWNING) e de desenvolvimento político (BRUNNER). Em todos os casos analisados, recursos computacionais foram utilizados, seja em processos quantitativos (cálculos onde a partir de valores iniciais informados utilizam-se equações para produzir um resultado), seja em situações em que caminhos a serem tomados são indicados em função de certos atributos ou simplesmente para armazenagem de dados.

Embora o livro de Coplin tenha sido utilizado para ilustrar a utilização de computadores em processos de simulação, é importante destacar que, ao final daquela obra, quando o autor faz uma série de comparações e análises dos estudos ali presentes, ele sempre lida com a noção de modelos. É sobre este tema que o próximo item deste capítulo irá se debruçar.

2.2 Modelos

Muitas vezes, a idéia de simulação nos remete à construção de modelos tais como maquetes, na arquitetura, ou miniaturas de aviões, como os aeromodelos. Com eles, é possível manipular algumas características, submetê-los a algumas situações similares àsquelas do mundo real e observar como serão o seu desempenho e o seu comportamento através de processos iterativos partindo-se de dadas características

iniciais. Assim, analisa-se cada etapa até que se encontre a forma adequada de consecução dos objetivos propostos. Quando se trata das Ciências Sociais, não é possível dar forma física aos elementos constitutivos daquela ciência. Ou seja, não é possível dar forma física à Economia, à Psicologia, à Administração, à Sociologia, à Ciência Política ou à Política Internacional. Mas, também, não importa a estes campos de conhecimento o tamanho ou o formato de uma cédula ou moeda, de um divã, do edifício-sede de uma empresa, do contorno de um continente. Atenção deve ser dada ao balanço de pagamentos, aos sentimentos da pessoa analisada, à produtividade, às relações de poder entre as pessoas e as nações e às regras que estabelecem estas relações e que, portanto, pautarão os seus comportamentos (EDWARD, 1965, p. 6). Representam-se estes elementos por descrições que são comumente denominadas “modelos”.

É comum, na literatura sobre Ciência Política, nos depararmos com o termo “modelo”. Há modelos de democracia, modelos de análise, modelos de comportamento do ator político e modelos de desenvolvimento, modelos de organização social, modelos de ordem política, modelos econômicos, entre outros. Em vários casos o termo é utilizado, mas não necessariamente explicado, uma vez que o enfoque não é, estritamente, o conceito de modelo em si, mas sim a sua descrição ou a sua aplicação ao objeto estudado.

Então, como podemos definir um “modelo”? Buscando alguns livros e artigos que discutem metodologicamente sua construção, podemos encontrar algumas definições:

A model is nothing more than a “simplified picture of a part of the real world”. (MARCH e LAVE *apud* SNIDAL, 2004, p. 227-228)

The model [...] is a mode of construing and representing a particular set of social phenomena. (GREENBLAT e URETSKY, 1977, p. 412)

A model is always a partial representation of some aspect of a problem rather than of its entirety, and different models may illuminate different elements of the same problem. (SNIDAL, 2004, p. 231)

A model is a formal, often mathematical representation of the variables that are believed to capture the main relationships in the phenomena that one is studying. Furthermore, these variables and relationships are

posed in sufficiently general terms so that they can apply to a wide range of cases. (JERVIS, 1990, p. 82)

Assim sendo, a partir das definições acima, podemos dizer que mapas, organogramas, uma cópia de “A República” de Platão, cenários, um conjunto de equações, um programa de computador e jogos de guerra são modelos. Esta é a opinião de R. D. Specht, que em busca do que há em comum em tudo isso chega à simples conclusão de que “[a] model, then, is an analog of reality” (1968, p. 212).

A partir destes exemplos, podemos dizer que existem vários tipos de modelos. E diversas, também, são as categorias que vários autores elaboraram para diferenciar cada um deles. Trazemos aqui dois conjuntos destas categorias: o primeiro, proposto por Cathy Stein Greenblat e Myron Uretsky, consideramos o mais simples, principalmente para aqueles menos familiarizados com o tema; o segundo, de Rebecca Morton, mais sofisticado, por utilizar uma linguagem mais abstrata e construída a partir da visão do processo científico¹. Vamos a elas:

Greenblat e Uretsky (1977, p. 412):

- i. *Modelo verbal*: a forma mais familiar, encontrado tanto em apresentação oral quanto escrita;
- ii. *Modelo gráfico (diagrama)*: usado para melhor apresentar quadros de complexidade auxiliado pelo uso da forma, de símbolos, de figuras em oposição à linearidade da exposição verbal;
- iii. *Modelo matemático*: forma gráfica especial utilizado para expressar enunciados teóricos;
- iv. *Modelo físico*: usados para representar projetos arquitetônicos ou de planejamentos urbanos;

¹ Para outro conjunto de definições que cria categorias de modelos classificando-os quanto à perspectiva mais abrangente ou restrita que eles dão à fração da realidade que está sendo estudada veja R. D. Specht (1968, p. 222-226). Ele contempla situações conflituosas ou não conflituosas na explicação de seus modelos.

- v. *Modelo operacional*: os modelos anteriores mostravam a estrutura de um sistema, mas não mostravam satisfatoriamente os processos funcionais ou a dinâmica dos mesmos. Estas últimas são características da simulação, que enquanto modelo operacional, mostram não simplesmente o estado de um sistema em um dado momento, mas também o modo como o sistema se altera.

Rebecca Morton (1999, p. 59-61):

- I. *Modelos não-formais*: um conjunto de enunciados verbais sobre o mundo real. Estes enunciados envolvem idealizações, identificações e aproximações, mas são dados em termos reais, observáveis e não simbólicos ou abstratos;
- II. *Modelos formais*: um conjunto de suposições abstratas ou axiomas sobre o mundo real, apresentadas em termos simbólicos, que são utilizadas para produzir predições sobre o mundo real. Se subdivide em:
 - a. Modelo matemático: modelo formal que utiliza símbolos matemáticos que são resolvidos (esclarecidos) através de teorias e técnicas da Matemática;
 - b. Modelo computacional: modelo formal apresentado em linguagens de computador. Para explicá-los são utilizadas simulações computacionais a partir de valores numéricos dados como parâmetros. Os resultados podem ser utilizados como base para avaliações empíricas;
 - c. Teoria pura (modelo verbal²): uma versão altamente estilizada do mundo real. Podem ser modificados e avaliados empiricamente usando-se experimentos controlados. Frequentemente, são utilizados como base para modelos formais aplicados.
 - d. Modelo formal aplicado: modelo elaborado para prover predições que podem ser utilizadas como hipóteses sobre fenômenos do mundo real ou para serem empiricamente validadas.

² Ver Snidal (2004, p. 233-234)

- III. *Modelos empíricos ou estatísticos*: um conjunto de equações usadas para fazer estimativas de parâmetros de modelos formais aplicados e para avaliar hipóteses sobre fenômenos do mundo real derivados de um outro modelo formal ou não-formal.

Especificamente sobre o tipo de modelo formal aplicado à Política Internacional, pode-se referir o texto “Formal Models of International Politics”, de Duncan Snidal, publicado no livro “Models, Numbers, and Cases”, editado por Detlef F. Sprinz e Yael Wolinsky-Nahmias. Nele, o autor trabalha modelos formais aplicados à Teoria dos Jogos. Ao concluir, ele reconhece que o desenvolvimento de modelos não é tarefa fácil e que os modelos formais dependem dos modelos verbais (teorias). Ou seja, a elaboração de modelos será boa se a teoria for boa e se a interpretação dada a ela também for boa.

Sendo os modelos partes reduzidas do mundo real, não podemos encará-los como a tábua de salvação que irá solucionar os problemas de análise dos estudiosos das Ciências Sociais. Devido às suas características de representar o mundo, mas não ser ele mesmo, sempre haverá incertezas. Modelos não são exatos, mas, progressivamente, podem se tornar boas aproximações do problema em análise. A utilidade dos modelos está em permitir-nos fazer inferências lógicas, produzir deduções, o que poderá nos mover para além das descrições, inferindo a partir de hipóteses (JERVIS, 1990; SNIDAL, 2004).

Para finalizar esta seção, vincularemos a idéia de modelo à idéia de simulação. Para isso usaremos a interpretação de Richard E. Dawson, que diz que “simulations are models” (DAWSON, 1962, p. 3). Para ele

simulation as employed by social science makes use of models constructed in such a way that they may become operative or functioning. Operating models are representations of behaving systems that attempt to reproduce processes in action. As such, operating models provide information about variable, component and relationship changes within a system over time. (p. 4-5)

Grosso modo, é como o funcionamento de um computador: o usuário entra com informações (*inputs*) através de algum dispositivo de entrada (um teclado, por exemplo), estas informações são trabalhadas pelo processador e os resultados

(*outputs*) são mostrados em algum dispositivo de saída (um monitor, por exemplo). Assim, simulações têm “inputs” informados pelo pesquisador e, enquanto a simulação está “rodando”, os “outputs” podem ser observados a cada etapa do processamento. Este processamento (ou o “rodar” da simulação) se dá baseado em algum modelo desenvolvido pelo próprio pesquisador que fornece os dados ou por outros.

2.3 Simulação e Jogos

Muitas vezes, a palavra “jogo” nos remete ao mundo da infância, referindo-se a brincadeiras e passatempos. Mas, veremos, rapidamente, que jogo também é coisa de gente grande. Talvez o termo tenha sido mal escolhido para o ambiente científico, como opinam R. Luce e H. Raiffa (*apud* MIELANTS e MIELANTS, 1997, p. 295), devido ao seu valor pejorativo. No entanto, seu uso se justifica uma vez que eles buscam simular (daí sua conexão com o termo simulação) situações, normalmente conflituosas, antes que elas aconteçam na realidade. Assim, jogos podem ser definidos como

a situation wherein several decisionmakers, each trying to achieve the best outcome, have to make a choice between a limited number of options while the consequences of each decision and action are influenced by the decisions of the others. (BRUYNEEL *apud* MIELANTS e MIELANTS, 1997, p. 295)

Jogos são veículos de simulação. Nessa situação, estabelecem um conjunto de atributos hipotéticos ao ambiente (real) aonde a simulação tem lugar, alocam responsabilidades e atribuições funcionais para os atores, e definem a estrutura de relacionamentos e a dinâmica das interações previstas. (RAZA, 2003. Mimeo, p. 9)

No entanto, outros autores fazem a distinção entre jogos e simulação

a game is an interaction between people or between people and a computer while a simulation can be fully informatized (NICHOL e SHUBIK *apud* MIELANTS e MIELANTS, 1997, p. 295)

Esta breve exposição sobre jogos permite-nos afirmar que sua associação com a idéia de simulação é freqüentemente utilizada para indicar um mesmo modo de análise, embora seja geralmente atribuída à simulação uma certa superioridade: modelos mais

complexos são, normalmente, definidos como simulação e os de menor complexidade como jogos. Além disso, modelos computadorizados são, muitas vezes, descritos como simulações, enquanto modelos "operados por pessoas" são denominados jogos. (BECKER e GOUDAPPEL *apud* MIELANTS e MIELANTS, 1997, p. 296)

Finalizando este item, ressalte-se que ele foi aqui apresentado com dois propósitos: primeiro, como já dito anteriormente, para entender a relação existente entre jogo e simulação; segundo, para esclarecer que a noção de jogo, quando se fala de simulação, não deve ser confundida, exclusivamente, com a Teoria dos Jogos.

Esta última representa o conjunto de modelos mais comuns utilizados para abordar os problemas da Ciência Política, e também da Política Internacional. Entre os mais conhecidos estão o Dilema do Prisioneiro, o *Chicken* e o *Stag Hunt*. Apesar do nome "teoria", ela é mais uma ferramenta de análise, pela qual dada situação é modelada com o objetivo de prever o comportamento dos atores envolvidos e para que o ator interessado estabeleça os cálculos necessários para que sua escolha permita a maximização de seus ganhos e a redução de suas perdas, dadas as condições estabelecidas como regras do jogo.

Agora, uma vez apresentadas as relações entre jogos, modelos e simulação, passemos a um entendimento mais abrangente da utilização dada às simulações.

2.4 Os Usos das Simulações

Como já observado, as simulações têm ampla aplicabilidade. Sistematizaremos, a seguir, os propósitos no uso de simulação nas Ciências Sociais. Vamos trabalhar com as contribuições de Richard E. Dawson (1962), Nigel Gilbert e Klaus G. Troitzsch (2002), por serem complementares, uma vez que incorporam os avanços de quatro décadas de simulações.

- 1) *Design*: muito utilizado nas ciências da física, principalmente pela engenharia, como as simulações feitas em túneis de vento para a análise do *design* de aeronaves e de automóveis. Mas é também utilizado no *design* de sistemas

sociais, como sistemas de defesa aérea, com o intuito de verificar a melhor maneira de se lidar com problemas reais;

- 2) O uso de simulações tem permitido, também, o desenvolvimento de novas ferramentas que substituem as capacidades humanas. Isto é, atividades que necessitariam da presença de geólogos, químicos ou mesmo médicos estão substituindo estes profissionais por sistemas que são utilizados por pessoas que não têm aquela formação para fazer diagnósticos. Principalmente, quando os profissionais não podem se deslocar para áreas remotas aonde as análises seriam feitas;
- 3) Treinamento: os treinantes assumem diferentes papéis em situações simuladas que lhes permitem experimentar, vivenciar a realidade e, assim, perceber as conseqüências de suas ações. Por exemplo, sistemas econômicos podem ser simulados para treinar economistas – embora, mais tipicamente, simulem-se vôos de aviões de passageiros para treinar pilotos;
- 4) Ensino: ainda de modo conectado aos propósitos de treinamento, as simulações auxiliam o ensino permitindo que modelos abstratos sejam melhor assimilados ou entendidos, tais como, sistemas sociais onde a manipulação de dados possibilita comparar estados diferentes e, assim, compreender o comportamento daquele sistema;
- 5) Entretenimento: a presença das simulações pode ser, nos dias atuais, observada em diversas atividades ligadas à diversão, a *hobbies* e a passatempos. Jogos de computadores (como simuladores de vôo, cidades, impérios, etc.), desenhos animados, filmes; e,
- 6) Desenvolvimento de conhecimento, elaboração de teorias, melhor entendimento de algumas características do mundo social e predição: sendo o objeto da ciência a formulação de teorias que explicam e predizem o comportamento, as simulações, neste sentido, podem ser ferramentas úteis para explorar os modelos teóricos e para testar hipóteses. Para Norman C. Dalkey (1968, p. 241), "[t]he basic advantages of simulation are that hypothetical future conflicts can be investigated

in terms of elementary events, and precise, reproducible models can be constructed of processes for which there are no general theories or analytical descriptions." Conduzir experimentos sociais ou psicológicos diretamente no mundo real – mesmo que fosse factível – não seria desejável, exatamente por não se saberem, de antemão, as possíveis conseqüências. Assim, através de sistemas simulados é possível explorar estes fenômenos.

Este último item é o que nos interessa mais especificamente. Aplicar, portanto, as simulações em pesquisas, na construção de teorias, em “policy-testing tool (predicting possible futures)” (STRAUCH, 1976, p. 155).

2.5 A Simulação no Estudo da Ciência Política e da Política Internacional

Muitas vezes vinculado às Ciências Exatas, o termo “simulação” surge nas Ciências Sociais nos anos 50. Ao levantarmos a bibliografia para o desenvolvimento deste trabalho, observamos que a produção (livros, *papers* e artigos) sobre o tema “simulação” aplicado às Ciências Sociais e ao estudo das Relações Internacionais existe há pelo menos uma década. Iniciou-se na década de 50, desenvolveu-se nos anos 60, quando o acesso aos recursos de computação ainda era restrito e os custos de aquisição e manutenção eram elevados, diminuiu entre os anos 70 e 80 e voltou a crescer nos anos 90. Similarmente, o debate acerca do positivismo seguiu a mesma trajetória.

Segundo levantamento da instituição ERIC Clearinghouse on Teacher Education, somente 10 (dez) publicações na área de “Simulação como Método de Pesquisa” foram editadas entre os anos 1979 e 1986 (CRUICKSHANK *et al.*, 1987, p. 154-155). Quando comparadas ao mesmo levantamento bibliográfico publicado em 1979, as produções na área de simulação aplicada à educação na área de economia quadruplicaram, triplicaram quando aplicadas à educação superior e mais que dobraram na área de idiomas. O aumento pelo interesse na área de “Simulations and Games (General)” é evidente quando o estudo destaca que enquanto no ano de 1979 havia 41 (quarenta e uma) publicações sobre o tema, em 1986 este número passou a 207 (duzentos e sete) (p. 2).

Considerado pioneiro na simulação do sistema internacional (WARD, 1985b, p. xii), Harold Guetzkow, professor da Northwestern University, caracterizando a nossa era como aquela do aumento da complexidade tecnológica, considera as ciências do comportamento (*behavioral sciences*) a parcela pobre da comunidade científica, enfatizando que a Ciência Política é a mais pobre de todas. Em uma escala hipotética do conhecimento científico, ele localiza a Política Internacional (subárea da Ciência Política) na pior das posições em relação à Sociologia, à Antropologia, à própria Ciência Política, à Psicologia, à Economia e à Biologia, a mais avançada entre todas as disciplinas, juntamente com a Física. Para ele, a razão de se utilizar simulação é justamente esta falta de desenvolvimento nas Relações Internacionais. Utilizadas como ferramentas para construção de teorias, as simulações teriam como efeito

[...] to force ourselves to develop more explicit theory – and to have a vehicle through which we can explore theoretically many ‘worlds’ – instead of being confined to one. (GUETZKOW, 1968, p. 10)

Para Paul E. Johnson, da University of Kansas, “[a]lthough empirical research methods and rational choice theory have grown more quickly, there is reason to believe that simulation methods will occupy an increasingly important place in the future” (1999, p. 1526). Esta afirmação é corroborada por Guetzkow ao dizer que o desenvolvimento de simulações pode ajudar a acelerar o desenvolvimento de conhecimentos fundamentais na Política Internacional.

Firme neste propósito, Guetzkow começou, no final da década de 50, a explorar a técnica de simulação com dois objetivos complementares: 1) desenvolvimento de teorias e 2) propósitos educativos. Em 1962, ele editou o livro “Simulation in Social Science: readings” com o objetivo de fazer entender os esforços de simular complexos processos individuais e grupais. Ele esperava que seus colegas acadêmicos, estudantes e leigos pudessem entender melhor “the recent and expanding use of simulation as a technique for experimentation and teaching in the behavioral sciences” (p. vii). Lá estão incluídos trabalhos de simulação aplicados à Psicologia, à Sociologia, à Ciência Política, à Economia e Gestão, à Educação, à Engenharia Industrial e a operações militares. Alguns destes textos são reimpressões de trabalhos apresentados em conferências ou publicados em periódicos. O mais antigo deles

“Some Considerations in the Design and Use of Dynamic Flight Simulators”, de Jack A. Adams, foi publicado em abril de 1957, como um relatório de pesquisa da *Air Force Personnel and Training Research Center*, curiosamente localizado na seção reservada à Psicologia.

Ainda nos anos 50, a RAND Corporation desenvolveu simulações, conhecidas como “crisis games”, que tentavam retratar possíveis crises internacionais. Formuladores de política externa, envolvidos nestas simulações, poderiam formular políticas alternativas para serem utilizadas em eventos de crises similares. (ELLISON)

Em 1963, um outro livro foi editado por Guetzkow, “Simulation in International Relations: developments for research and teaching”. Desta vez com outros colegas da Northwestern University (Chadwick F. Alger e Richard C. Snyder), da Stanford University (Richard A. Brody) e da General Electric Technical Military Planning Operation (Robert C. Noel). Na oportunidade, como o próprio título sugere, foram tratados temas endereçados às Relações Internacionais. A intenção dos autores era “share [their] experience with others who may be interested in appraising and/or undertaking an experimental approach to the study of international political systems” (GUETZKOW *et al.*, 1963, p. iii). Os textos se baseavam em um projeto de Guetzkow, da década de 50, chamado “Inter-Nation Simulation”, uma das experiências do chamado “world modeling”³ (ou “global modeling”) onde, a partir de um modelo referente ao mundo real, realizavam-se simulações para analisar fenômenos das relações internacionais. Este modelo tinha seu uso focado em objetivos educacionais. Aproximadamente três décadas depois, Guetzkow desenvolveu um outro projeto, de nome “GLOBUS”. Ele seria o predecessor do “Inter-Nation”. Enquanto este último era operacionalizado somente por pessoas, o primeiro já era um modelo totalmente computadorizado e tinha como determinação explorar caminhos alternativos de desenvolvimento global (BREMER, 1985, p. 40).

³ Segundo Hayward R. Alker, Jr. (1985, p. 15), o “global modeling” iniciou-se em 1968 com Jay Forrester quando retornava de uma reunião do Clube de Roma. Forrester se baseou nas discussões travadas naquele clube sobre o futuro do mundo. Selecionou, para o seu modelo, variáveis que se interrelacionavam e as traduziu em equações diferenciais e integrais, que caracterizam sistemas dinâmicos. Mais tarde, juntou-se a ele Dennis Meadow.

No entanto, o mais ousado projeto de “world modeling” estava por vir. E não seria surpreendente se dissemos que o seu idealizador era, de novo, Harold Guetzkow. Em 1979, ele apresentou a um perplexo oficial da National Academy of Science o “5Cs”, projeto de larga escala que pretendia ser um modelo dos cinco continentes, refletindo os seus diferentes valores sociais e culturais. A intenção de Guetzkow era trabalhar nesta idéia depois que aposentasse, em 1985⁴ (WARD, 1985a, p. 4).

Em 1984, Robert Axelrod publicou *The Evolution of Cooperation*, uma referência em simulação de processos de barganha. Este livro tornou a simulação computacional nas Ciências Sociais amplamente reconhecida, além de mostrar-se como uma potencial ferramenta de pesquisa disponível para o cientista daquela área. Foi sugerida, inclusive, como uma quarta metodologia à disposição daqueles estudiosos ao lado da lógica retórica, da análise empírica, e da modelagem formal ou matemática (PEPINSKY, 2005, p. 368).

Segundo Nigel Gilbert e Klaus G. Troitzsch (2002, p. 7-9), ainda nos anos 80, uma técnica que se estabeleceu principalmente na Alemanha, Austrália e Canadá é a microsimulação. Ela se baseia em amostras randômicas de uma população de indivíduos, residências e empresas, consideradas unidades. Utilizando-se de probabilidades esta ferramenta procura determinar a possibilidade de alguma daquelas unidades passar por mudanças durante a passagem dos anos. Por exemplo, a probabilidade de uma mulher vir a ser mãe. Seus estudos influenciaram políticas de pensão e políticas de preços. Nos anos 1990, modelos multi-agente (*multi-agent models*) se desenvolveram com a promessa de simular indivíduos autônomos e as relações entre eles. Este tipo de técnica originou-se dos estudos de dinâmicas não-lineares e de inteligência artificial. Outra técnica utilizada foi a dos autômatos celulares (*cellular automata*), que consiste em uma grande rede onde cada espaço é uma célula que representa um pequeno número de estados. As alterações destes estados obedecem a regras que dependem dos estados das células vizinhas. Ela já foi utilizada em estudos de interação social como, por exemplo, a formação de segregação étnica. Segundo James Fearon,

⁴ Não conseguimos a informação se tal empreitada se concretizou.

cellular automata – which are simple structures governed by deterministic or stochastic rules – can serve as analogies to many scientific processes. In particular, cellular automata allow the researcher to model cases where no structural equation can represent the processes that follow from these simple rules. Accordingly, with the adoption of intuitions from chaos theory and its application in the social sciences, cellular automata can show that seemingly random events are not random at all. It is the interactions of cellular automata that serve as the foundation of much work in the field of simulation of world politics. (*apud* PEPINSKY, 2005, p. 371)

Uma outra área da Ciência da Computação que chamou a atenção dos pesquisadores foi a Inteligência Artificial. Com ela, principalmente, a noção de modelos baseados em “agentes” cresceu. Agentes são programas que recebem ou coletam informações, avaliam-nas a partir de experiências passadas e, como resultado, tomam decisões. Estes modelos têm a capacidade de aprender e são utilizados para simular processos cognitivos de indivíduos e para modelar sociedades que se adaptam a novas circunstâncias ao longo do tempo. Nesta mesma linha do autoaprendizado, estão as redes neurais e os algoritmos genéticos.⁵

Dada a diversidade de abordagens hoje disponíveis, conforme demonstrado até aqui, e baseados nas pesquisas para a construção deste trabalho, podemos concordar com Paul E. Johnson (1999, p. 1512-1513) em que

[i]t is not easy to point to the “‘field of simulation’ in political science. There is no section (yet!) of the American Political Science Association dedicated to simulation methods. Instead, one finds simulations applied to various problems, and more often than not, no two simulations share the same assumptions or research strategy. In some problem areas, there are streams of research that highlight the continuing contributions of simulation, whereas in others, there are isolated simulation projects.

Assim, focaremos, a partir de agora, em um breve histórico da abordagem relacionada à complexidade e à modelagem baseada em agentes, dois temas que fazem parte do objetivo maior deste trabalho. Para tanto, vamos nos basear no texto de Thomas B. Pepinsky (2005).

⁵ Para maiores entendimentos destes e de outros tipos de simulação aplicados às Ciências Sociais, ver Gilbert e Troitzsch (2002).

Para ele, alguns pesquisadores têm se sentido, muitas vezes, incapazes de modelar fenômenos complexos porque os seus focos se dão em níveis *macro* de análise ao invés de fazê-lo em níveis *micro*. A partir desta observação, vislumbrou-se uma abordagem teórica, que tem sido bem-sucedida na Física. É o conceito de auto-organização (*self-organization*):

Physicists have noted, in several contexts, the possibility of a 'critical state', in which independent microscopic fluctuations can propagate so as to give rise to instability on a macroscopic scale. This is a state in which chain reactions initiated by a local disturbance neither damp out over a short distance (the 'subcritical' case) nor propagate explosively so that the system cannot remain in that state (the 'supercritical case'), as in the controlled nuclear fission that allows a reactor to generate power without exploding. Often this has seemed to depend upon parameters being carefully 'tuned' to exactly their critical values. (SCHEINKMAN e WOODFORD *apud* PEPINSKY, 2005, p. 370)

Esta abordagem chegou primeiro às Ciências Sociais trazida pelas mãos da Economia, mas já foi, mais recentemente, incorporada pelas Relações Internacionais. Pepinsky a considera uma revolução, que tem impacto profundo nas pesquisas sociais, por permitir que cientistas sociais modelem sistemas dinâmicos com complexas relações não-lineares, indo em direção a entendimentos intuitivamente mais satisfatórios dos sistemas complexos.

Intimamente vinculada à idéia de auto-organização e sistemas complexos (*complex systems*) está a noção mais ampla de caos e seu potencial de aplicabilidade aos processos tratados pelas Ciências Sociais. Sistemas caóticos, definido por Diana Richards (*apud* PEPINSKY, 2005, p. 370-371) como “nonlinear, deterministic process[es] that . . . [do] not evolve towards a fixed point or a regular cycle”, já foram mobilizados como o fundamento da corrida armamentista⁶, bem ou como parâmetro para a dinâmica da popularidade presidencial e do poder no sistema internacional⁷.

Segundo Saperstein (*apud* PEPINSKY, 2005, p. 371), “[r]ecent scholarship has suggested that chaos is a defining characteristic of the international system, and some

⁶ Sobre isso veja Saperstein, Alvin M. (1984) ‘Chaos – a Model for the Outbreak of War’, *Nature* 309: 303–5.

⁷ Sobre isso veja Richards, Diana (1992) ‘Spatial Correlation Test of Chaotic Dynamics in Political Science’, *American Journal of Political Science* 36(4): 1047–69.

authors explicitly link the everchanging system of alliances and balancing and the chaotic properties of fluid dynamics”.

Assim, uma vez apresentada a variedade de aplicações, conceitos e métodos que envolvem as simulações, principalmente, as últimas abordagens apresentadas aqui, é importante enfatizarmos que este trabalho, a partir de agora, focará sua discussão no seguinte argumento de Nigel Gilbert:

Simulation introduces the possibility of a new way of thinking about social [...] processes, based on ideas about the emergence of complex behaviour relatively to simple activities. These ideas, which are gaining currency not only in the social sciences but also in physics and biology, go under the name of complexity theory. (2002, p. 1)

Portanto, o próximo capítulo terá a incumbência de apresentar, com apuro, a noção de complexidade e os elementos inerentes a este, ainda recente, campo do conhecimento.

3 Complexidade, Sistemas Adaptativos Complexos e Modelagem baseada em Agentes

A idéia de complexidade começou a ser elaborada nos anos 80, juntamente com a fundação do seu principal centro de estudos, o Instituto Santa Fé, um *think tank* situado no Novo México, EUA. Frequentado por pensadores que vão de estudantes de pós-graduação a ganhadores do Prêmio Nobel, os diversos interesses de pesquisa ali desenvolvidos propiciam um ambiente interdisciplinar. É comum serem encontrados físicos, economistas, biólogos, cientistas da computação e sociólogos, entre outros, travando discussões entusiasmadas sobre assuntos que o mundo externo àquele ambiente, muitas vezes, nem imaginam existir. No entanto, todos compartilhavam uma visão fundamental:

a common theoretical framework for complexity that would illuminate nature and humankind alike. They believe that they have in hand the mathematical tools to create such a framework, drawing from the past twenty years of intellectual ferment in such fields as neural networks, ecology, artificial intelligence, and chaos theory. They believe that their application of these ideas is allowing them to understand the spontaneous, self-organizing dynamics of the world in a way that no one ever has before – with potential for immense impact on the conduct of economics, business, and even politics. They believe that they are forging the first rigorous alternative to the kind of linear, reductionist thinking that has dominated science since the time of Newton – and that has now gone about as far as it can go in addressing the problems of our modern world. They believe they are creating, in the words of Santa Fe Institute founder George Cowan, “the sciences of the twenty-first century.” (WALDROP, 1993, p. 12-13)

Quanto a esta última ambição de George Cowan, é importante enfatizarmos que não é objeto deste trabalho a discussão sobre se a complexidade constituiu ou não uma ciência. Há muito sobre o assunto e tal investida mereceria ser objeto exclusivo de um outro trabalho. Uma discussão extensa sobre o tema pode ser encontrada no volume 3, número 1, de 2001, do periódico *Emergence*. Em uma edição especial, todos os dez artigos ali publicados procuram responder a uma única pergunta: “What is complexity science?”. Como ponto de reflexão, citaremos um trecho extraído de uma outra fonte. Trata-se do artigo “Complexity theory applied to itself”, de Robin J. Nunn, do *Institute for the History and Philosophy of Science and Technology* da *University of Toronto*.

While there is no general debate that theories about complex systems help us to understand our complex world, on the other hand, there is no general agreement that there is a separate science of complexity or even that it is science. Even its proponents cannot offer more than generalities about complexity science such as calling it “a subject that’s still so new and wide ranging that nobody quite knows how to define it, or even where its boundaries lie.” (NUNN, 2007, p. 95)

Então, o que é esta tal de complexidade? O que ela tem de tão revolucionário para ser considerada, por alguns, a ciência do século XXI? Qual é o impacto que ela pode exercer nas Ciências Sociais? São as respostas a estas perguntas que iremos discutir neste capítulo.

3.1 Complexidade e Sistemas Complexos

Complexidade (*Complexity*) é o estudo de sistemas constituídos de muitas partes – unidades simples, individuais e autônomas, cujas interações configuram algo confuso, embaraçado, enfim, complexo. O conjunto desses estudos constitui o campo da chamada Teoria da Complexidade (*Complexity Theory*), que para Robert Axelrod (1997), professor de Ciência Política e Políticas Públicas na *University of Michigan*,

involves the study of many actors and their interactions. The actor may be atoms, fish, people, organizations, or nations. Their interactions may consist of attraction, combat, mating, communication, trade, partnership, or rivalry. (1997, p. 3)

Um fato observado durante o levantamento bibliográfico para este trabalho é que a mais freqüente definição que encontramos sobre Complexidade ou Teoria da Complexidade se refere à definição de Sistemas Complexos. Aliás, há um intercâmbio constante entre estes três termos. Para entender o tema, vamos focar nossa exposição naqueles últimos.

Um sistema é complexo (*complex system*) se ele consiste da interação de vários elementos de tal forma que o comportamento do sistema será difícil de deduzir a partir do comportamento das partes. Isto ocorre quando há muitas partes ou quando há muitas interações entre elas. Nas palavras de M. Mitchell Waldrop (1993), autor de

Complexity: the emerging science at the edge of order and chaos, obra que é referência sobre o tema, um sistema é complexo “in the sense that a great many independent agents are interacting with each other in a great many ways.” (p. 11)

Vejamos algumas outras definições.

Complex adaptive systems are characterized often by “agents” interacting or capable of interacting with each other in dynamic, often nonlinear and surprising ways. (BERRY, KIEL e ELLIOTT, 2002, p. 7187)

[C]omplex systems like a stock market or a road-traffic network involve a medium-sized number of agents (traders or drivers) interacting on the basis of limited, partial information. (CASTI, 1999, p. 13)

Complex Systems are often characterized by agents capable of interacting with each other dynamically, often in non-linear and non-intuitive ways. Trying to characterize their dynamics often results in partial differential equations that are difficult, if not impossible, to solve. (NARZISI *et al.*, 2006)

São exemplos de objetos modeláveis como sistemas complexos:

- uma célula viva, feita de quatrilhões de reações químicas envolvendo proteínas, lipídios e ácidos nucleicos;
- o cérebro, constituído por bilhões de neurônios conectados;
- a sociedade humana, formada por bilhões de indivíduos mutuamente interdependentes;
- Grandes cidades ou cidades-estado, ambientes complexos que se desenvolvem e se auto-organizam adaptando-se a diferentes e numerosas mudanças em sua infraestrutura social, cultural e tecnológica.

Para além, contudo, da simples alusão a um grande número de partes constitutivas mutuamente interdependentes, a noção de sistemas complexos pode ser melhor compreendida se entendermos suas propriedades. Algumas delas, tais como a auto-organização do sistema e o comportamento adaptativo de suas partes integrantes, podem ser identificadas na sociedade humana. Seus membros têm que adaptar seu padrão de comportamento às constantes mudanças do ambiente provocadas por seus próprios atos anteriores; além disso, o sistema como tal obedece a uma lógica de auto-organização que resulta, como propriedade emergente (freqüentemente não

planejada), da reação adaptativa dos indivíduos a mudanças gerais do contexto. Esse jogo de espelhos desemboca rapidamente num padrão caótico de ação-e-reação, pouco tratável analiticamente para além da mera delimitação dos respectivos campos analíticos (o “micro” e o “macro”). A simulação computacional vem, precisamente, apresentar-se como ferramenta apta a lidar de maneira sistemática com processos dessa natureza.

Assim, o próximo item deste capítulo se reserva a discutir algumas propriedades formais dos sistemas complexos.

3.1.1 Sistemas Complexos: propriedades

Para tratar deste assunto utilizaremos as idéias de John L. Casti (CASTI), Waldrop (1993) e Carlos Gershenson (2007).

3.1.1.1 Irredutibilidade

Como já visto, sistemas complexos são um todo. Eles não podem ser desmembrados em partes a serem estudadas de maneira isolada, porque o comportamento do sistema é determinado, justamente, pela interação entre essas partes. Qualquer ruptura neste sistema pode destruir as características que o identificam como uma unidade. Um sistema é de difícil redução ou isolamento quando o número e a complexidade de suas interações internas aumentam. Desde que o comportamento de um sistema depende da interação entre os seus elementos, uma abordagem integrativa parece ser mais promissora do que a reducionista.

Quanto maior o número de interações, mais dependente se torna o estado geral do sistema em relação a cada um dos seus elementos constitutivos, fazendo com que seja mais difícil separá-los. Por exemplo: uma empresa será mais complexa quanto mais divisões e empregados ela tiver e quanto maior for o número de interações entre estes elementos.

3.1.1.2 *Emergência*

Sistemas complexos produzem comportamentos, muitas vezes, surpreendentes. Eles produzem padrões de comportamento que não podem ser previsíveis a partir do conhecimento de suas partes tomadas em separado. Chamadas de “propriedades emergentes”, elas são, provavelmente, a mais singular característica deste tipo de sistema. A água ilustra bem esta idéia. Seus componentes, hidrogênio e oxigênio, gases altamente inflamáveis, quando combinados, produzem um composto que não tem características nem de um, nem de outro. Ser um líquido e ser não-inflamável são propriedades que emergiram da interação entre aqueles dois agentes gasosos e inflamáveis.

3.1.1.3 *Instabilidade*

Sistemas complexos tendem a ter várias formas de comportamento e, muitas vezes, agem deslocando-se entre elas. Isso é provocado por pequenas alterações nos fatores que governam o sistema. Por exemplo: o fluxo de água ou de óleo dentro de um cano é estável quando a velocidade dos líquidos é baixa. Mas, se a velocidade é aumentada para além de um determinado ponto, que será diferente para a água e para o óleo, por terem viscosidades distintas, redemoinhos ou turbilhões irão surgir. E, se a velocidade for ainda maior, uma grande turbulência poderá se instalar.

3.1.1.4 *Não-linearidade*

Não-linearidade é uma das principais propriedades dos sistemas complexos, por tratar da recursividade do sistema. Ou seja, de *loops* interconectados que se retroalimentam. O princípio da causalidade determinística pode ser formulado como “causas iguais têm efeitos iguais” ou “os efeitos variam com as causas”. Isto não é nada mais do que afirmar que a distinção entre causas e estados iniciais deve ser necessariamente conduzida aos seus efeitos e vice-versa.

Um sistema é linear se seus efeitos são proporcionais às suas causas. Por exemplo: se dobramos os fornos de uma siderúrgica, ela passará a produzir o dobro de aço.

Mas o que aconteceria se parte do aço produzido fosse reaproveitado na etapa inicial do processo? Provavelmente, o resultado final seria maior do que o dobro anteriormente obtido. O mesmo acontece com empresas que reinvestem seus ganhos, o que possibilitará um aumento de produção. Este aumento fará com que a empresa tenha mais receita para reinvestir e assim sucessivamente, tornando exponencial o seu crescimento.

Assim, a não-linearidade pode ser entendida como o efeito de uma recursividade causal onde os efeitos ou resultados retroalimentam o processo que os produziu. Sistemas complexos são caracterizados por esta espécie de rede, onde os seus nódulos estão conectados por *loops* causais. Assim, se um agente A afeta um agente B, B também afetará A, direta ou indiretamente. Qualquer variação em B poderia impactar, por exemplo, em uma ação exponencial em A, ou vice-versa. E mais, no caso de agentes reflexivos, a própria regra que presidirá o comportamento de B num momento subsequente poderá variar em função da avaliação que B faça do resultado de sua interação anterior com A, e vice-versa (ver abaixo, “adaptação”). Sistemas complexos exibem um emaranhado de *loops* de retroalimentação interconectados de maneira tal que os efeitos de qualquer mudança em um dos componentes desdobram-se em um número crescente de outros efeitos, onde parte deles retroalimenta o componente inicial. Se houver uma pequena variação de tempo entre estes efeitos, em princípio, torna-se impossível fazer previsões, porque nós não sabemos quem aconteceu primeiro e se um efeito será reduzido antes de ter tido a chance de ser ampliado ou não. Na situação mais simples, onde as variações de tempo são conhecidas (ou podem ser ignoradas), às vezes é possível obter, no mínimo, uma estimativa qualitativa do que pode acontecer identificando-se a intensidade dos diferentes *loops* na rede de influências. Em termos práticos, efeitos de retroalimentação desse tipo são tipicamente impossíveis de se calcular por intermédio de um sistema de equações, mas em muitos casos serão facilmente programáveis em computador.

3.1.1.5 Adaptação

Sistemas complexos são constituídos por agentes que tomam decisões e agem baseados em informações parciais em relação à totalidade do sistema. Estes agentes são capazes de alterar suas decisões baseados em tais informações. Ou seja, estão prontos para modificarem suas regras de comportamento a partir de novas informações disponíveis. E mais, ao invés de serem condescendentes com um conjunto preestabelecido de regras, os agentes estão aptos a gerar novos costumes que nunca haviam sido adotados anteriormente. O que implica a emergência de novas regras que continuam a se desenvolver ao longo do processo. Um motorista em uma malha rodoviária ou um corretor no mercado financeiro recebem informações parciais daqueles sistemas em que estão inseridos. Estas informações são as condições do tráfego, para o motorista, e os preços e as tendências de mercado para o corretor. A partir delas, eles formam uma percepção, uma idéia – errônea ou não – sobre como o restante do sistema está agindo. Assim, os agentes podem alterar suas decisões: o motorista pode fazer um trajeto totalmente diferente do habitual e o corretor pode fazer novas operações nunca antes tentadas.

Desta maneira, sistemas complexos têm a capacidade de aprender sobre o seu ambiente e adaptar o seu comportamento à luz das novas informações. Esta capacidade está atrelada à noção de inteligência. Neste sentido, não só os seres humanos são considerados como tal, mas também, moléculas, células vivas e empresas que alteram os seus comportamentos de acordo com os seus ambientes.

Dada a imprevisibilidade intrínseca aos sistemas complexos, como podemos lidar com eles? Primeiro temos que aceitar que nunca poderemos controlar ou prever, completamente, o seu comportamento. Sempre haverá surpresas, erros e problemas, o que é comum nas Ciências Sociais. Contudo, podemos sempre lidar com o inesperado adaptando nossas ações às novas situações. Se necessário, reconfiguramos o sistema desde que isso não implique sua destruição. Diferentes princípios e métodos de adaptação têm sido investigados em algumas áreas tais como inteligência artificial, redes neurais, sistemas multi-agentes e algoritmos genéticos, traduzindo-se em objetos de pesquisa que tentam construir sistemas cada vez mais adaptativos⁸.

⁸ Para saber sobre estas pesquisas veja, respectivamente, os trabalhos “Artificial Intelligence: A Modern Approach”, de Russell e Norvig, de 1995; “Parallel Distributed Processing: Explorations in the

Adaptar-se a qualquer mudança, seja ela previsível ou não, é a maneira de compensar alterações em uma situação que se desviou de seu curso esperado. Este é o método baseado no controle de *feedback*: corrigir erros depois que os fatos acontecem. Se a reação for rápida o bastante, antes que o problema tenha a possibilidade de crescer, regulá-lo pode ser extremamente eficaz. Por exemplo: não importa quão complexa seja, a combinação entre mudanças sociais, políticas ou tecnológicas pode aquecer a economia; o banco central pode intervir regulando a taxa de inflação através da alteração da taxa de juros. Este tipo de atuação exige que tenhamos um amplo conjunto de possibilidades de ação à nossa disposição e que saibamos qual delas utilizar em determinadas circunstâncias. Quanto maior a variedade de perturbações às quais um sistema está sujeito, maior a variedade de ações necessárias para manter o seu controle.

No entanto, objetivando uma reação rápida e apropriada, é bom que se tenha uma expectativa mínima do que pode acontecer e quais reações seriam mais adequadas. Expectativas são probabilidades subjetivas que nós aprendemos através de experiência: quanto mais freqüentemente uma determinada circunstância B aparece depois de uma determinada circunstância A, ou quanto maior o sucesso de uma determinada ação B em solucionar um determinado problema A, mais forte torna-se a associação entre A e B. A próxima vez que encontrarmos uma situação A, ou algo similar a ela, estaremos preparados e muito provavelmente reagiremos de modo a esperar B ou mesmo produzir B. O simples ordenamento das decisões de acordo com a probabilidade de sua relevância reduz a complexidade do processo de tomada de decisão, uma vez que necessitaremos atentar para as circunstâncias mais relevantes.

Para que um sistema tenha a capacidade de se adaptar e antecipar determinados acontecimentos, ele deve ser robusto. Se ele for frágil não suportará uma perturbação e entrará em colapso. Assim, podemos dizer que um sistema é robusto se ele continua a funcionar face às perturbações que pode sofrer. Portanto, sistemas complexos são

Microstructure of Cognition”, de Rumelhart, McClelland e The PDP Research Group, de 1986); “An Introduction to MultiAgent Systems”, de Wooldridge, de 2002, e “Brownian Agents and Active Particles. Collective Dynamics in the Natural and Social Sciences”, de Schweitzer, de 2003); e “An Introduction to Genetic Algorithms”, de Mitchell, de 1996. Todos eles citados por Gershenson (2007).

uma combinação de adaptação, antecipação e robustez para lidar com a imprevisibilidade de seu ambiente.

Podemos finalizar a apresentação destas propriedades gerais dos sistemas complexos dizendo, portanto, que eles são espontâneos, desordenados e ativos. Este peculiar dinamismo, segundo Waldrop (1993), é conhecido como caos, cuja teoria entende que “that very simple dynamical rules can give rise to extraordinarily intricate behavior; witness the endlessly detailed beauty of fractals, or the foaming turbulence of a river.” (p. 12). E ele concluiu sua breve visão sobre a complexidade propondo uma nova forma de ver o mundo ao dizer que

all these complex systems have somehow acquired the ability to bring order and chaos into a special kind of balance. This balance point – often called the edge of chaos – is where the components of a system never quite lock into place, and yet never quite dissolve into turbulence, either. [...] The edge of chaos is where life has enough stability to sustain itself and enough creativity to deserve the name of life. [...] The edge of chaos is where seventy years of Soviet communism suddenly give way to political turmoil and ferment. [...] The edge of chaos is the constantly shifting battle zone between stagnation and anarchy, the one place where a complex system can be spontaneous, adaptive, and alive. (p. 12)

3.2 Sistemas Adaptativos Complexos

A partir de agora vamos nos concentrar em um aspecto particular da Complexidade, conhecido por Sistemas Adaptativos Complexos (*complex adaptive systems - CAS*), por serem estes a base de alguns estudos recentes aplicados ao estudo da Política Internacional que serão tratados no próximo capítulo. Segundo John H. Holland (1995) “adaptation gives rise to a kind of complexity that greatly hinders our attempts to solve some of the most important problems currently posed by our world”. Basearemos-nos nos trabalhos de Holland (1992; 1995; 2006) para expor o tema das próximas linhas.

Muitas temáticas críticas para o tratamento de problemas contemporâneos têm propiciado a expansão do uso dos sistemas adaptativos complexos. São alguns deles (HOLLAND, 2006, p. 1):

- O encorajamento de inovações em economias dinâmicas;
- O provimento de crescimento humano sustentável;
- A previsão de mudanças no comércio mundial;
- O entendimento do funcionamento de mercados;
- A preservação de ecossistemas;
- Controle da internet, no que se refere a vírus e *spam*, por exemplo; e,
- O fortalecimento do sistema imunológico.

Sendo uma especificidade dos sistemas complexos, os sistemas adaptativos complexos herdam as suas propriedades e, portanto, são definidos como sistemas que têm um grande número de componentes, chamados de agentes, que interagem, se adaptam e aprendem. Então, a partir dos exemplos anteriores, podemos inferir que muitos fenômenos sociais se enquadram na descrição daqueles sistemas. Assim, passaremos, a partir deste ponto, ao entendimento um pouco mais detalhado de como são estes sistemas, quais são suas propriedades e como funcionam os seus mecanismos básicos.⁹

Holland introduz o conceito de sistemas adaptativos complexos a partir do seguinte exemplo. Em Nova Iorque, em um dia comum como outro qualquer, uma mulher vai a uma loja especializada de sua preferência para comprar um pote de peixe em conserva. Ela esperava que o produto estivesse disponível, mas a loja não o tinha em estoque. A política deste tipo de estabelecimento é evitar manter grandes estoques para evitar sofrer os efeitos de possíveis flutuações de preços, mas ao mesmo tempo conseguir manter um volume suficiente para suprir as necessidades dos clientes. A expectativa dos clientes e a preocupação dos empresários é a mesma, em qualquer lugar do mundo e em qualquer tipo de negócio. Juntando a este cenário o fato de que

⁹ Um centro de estudos fundamental para desenvolvimento das pesquisas sobre sistemas adaptativos complexos, particularmente em suas ressonâncias para as Ciências Sociais, é a Universidade de Michigan, onde um grupo de pesquisadores encontra-se vinculado ao Center for the Study of Complex Systems (CSCS). Parte deste grupo, tendo produzido uma série de trabalhos em coautoria, tornou-se conhecido como “grupo BACH”, referindo-se às iniciais de seus membros participantes: Arthur Burks, Robert Axelrod, Michael Cohen e John Holland. Mas o grupo não se esgota nesses. Integram o centro, por exemplo, Carl Simon, Rick Riolo, Ken Kollman e Scott Page (seu atual diretor). O grupo é interdisciplinar com a participação de cinco departamentos (em 1995). Os membros deste grupo também mantêm relações com o Instituto Santa Fé, mencionado no início deste capítulo.

não existe planejamento central que coordene a questão do abastecimento nestas cidades, Holland faz a seguinte pergunta:

“[h]ow do these cities avoid devastating swings between shortage and glut, year after year, decade after decade? [...] What enables cities to retain their coherence despite continual disruptions and a lack of central planning?” (HOLLAND, 1995, p. 1)

Mesmo que a “mão invisível” de Adam Smith intervenha, ele mantém a questão, perguntando como ela funciona. O mercado não lhe traz uma solução satisfatória porque ele falha ao explicar os seus mecanismos. Ele continua a elaborar sua problemática fazendo a mesma analogia com o funcionamento do sistema imunológico, do sistema nervoso e da interação entre as espécies de um ecossistema. Podemos acrescentar, aqui, o próprio sistema internacional, cujas relações entre os atores procuram manter a ordem social internacional. Em todos eles há ausência de qualquer forma centralizada de controle. Ao invés disso, um sistema imunológico, por exemplo, deve ser capaz de se adaptar aos invasores distinguindo-se a si mesmo destes últimos. Holland (1995), então, sugere que cidades, sistemas imunológicos e ecossistemas compartilham certas propriedades que envolve uma classe de fenômenos que ele, e o Instituto Santa Fé, chamam de sistemas adaptativos complexos.

This is more than terminology. It signals our intuition that general principles rule CAS behavior, principles that point to ways of solving the attendant problems. Our quest is to extract these general principles. The quest is new [...]. Nevertheless, we have come far enough to do more than make casual comparisons. [...] we can observe some of the prominent landmarks and we can estimate what kinds of apparatus will be needed to come to a broad understanding of complex adaptive systems. (1995, p. 4-5)

Sistemas adaptativos complexos são compostos por um grande número de elementos ativos que são diversos na forma e em sua capacidade. Por exemplo, as diferentes empresas de uma cidade, os anticorpos do sistema imunológico e os países do sistema internacional. Para se referir a estes elementos ativos, Holland tomou emprestado da Economia o termo “agentes” (*agents*).

Para entender a interação entre os agentes, é necessário descrever as capacidades individuais de cada um deles. Este comportamento é determinado por um conjunto de regras do tipo “estímulo-resposta”. Se um evento (estímulo) S ocorre, então uma resposta R é dada. Assim, se o mercado tem os preços em queda (S) então venda seus ativos (R). Se o pneu do carro furou (S) então pegue o macaco (R). Então, para definir o conjunto de regras atribuídas a um agente, devemos descrever os tipos de estímulos que o agente pode receber e as possíveis ações que ele pode executar como resposta. Este conjunto de regras é limitado, mas é possível expandi-lo a partir de pequenas alterações. Desta maneira, um conjunto de regras poderá gerar qualquer comportamento que possa ser descrito de forma computacional.

Selecionar e representar os estímulos e respostas relevantes é a principal atividade no esforço de modelagem de um sistema adaptativo complexo, pois é a partir disso que os comportamentos e as estratégias dos agentes serão determinados. Em uma economia, por exemplo, as empresas (agentes) com matéria-prima e dinheiro (estímulos) produziram bens (resposta). Chamamos a atenção para o tempo verbal: o fato de ele estar no futuro do pretérito significa que aquela ação não é a única alternativa, podendo haver outras, como a própria opção de não produzir. Segundo Holland (1995), “[d]ifferent selections emphasize different aspects of the CAS, yielding different models. This is not so much a matter of correct or incorrect (though models can be poorly conceived) as it is a matter of what questions are being investigated.” (1995, p. 8)

Uma vez estabelecidos os tipos de regras que orientarão as respostas do agente, abrem-se as possibilidades de comportamento, e é neste ponto que a adaptação e o aprendizado aparecem. Usando a biologia, Holland nos diz que a adaptação é o processo através do qual um organismo se adequa ao seu ambiente. Desta forma, as experiências destes organismos levarão a mudanças em sua estrutura que permitirão que eles façam melhor uso do seu ambiente em seu próprio benefício. As conseqüências destas experiências serão apreendidas e em outras situações serão confrontadas entre si balizando a próxima escolha. Este é o processo de aprendizado. O tempo de resposta a este aprendizado e, portanto, o tempo da difusão das adaptações, vai variar de acordo com o sistema: o sistema nervoso pode responder em segundos ou em horas; reestruturações em empresas podem demorar meses ou

anos; no sistema internacional poderá ser questão de séculos; em um ecossistema pode chegar a milênios; e em uma galáxia...

Em seguida, Holland descreve sete características básicas presentes em todos os sistemas adaptativos complexos. São quatro propriedades e três mecanismos. Veremos que alguns deles já foram citados quando tratamos dos sistemas complexos, outros serão tratados pela primeira vez.

3.2.1 Agregação

Aqui agregação (*aggregation*), ou agrupamento, tem duas conotações:

- 1) Refere-se a uma maneira padrão de simplificar sistemas complexos: como modelar.

Atribuímos categorias a coisas que entendemos como similares com o objetivo de tratá-las como sendo equivalentes. Por exemplo: árvores, automóveis, estados-nação e organizações não-governamentais. Neste sentido, agrupamento é uma das principais técnicas envolvidas na construção de modelos – e de fato em toda teorização. Neste processo, nós decidimos quais são os detalhes relevantes que permitirão que tal objeto seja localizado em determinada categoria. Aquilo que for irrelevante será descartado. Holland considera modelagem uma forma de arte, pois demanda daquele que modela experiência e bom gosto. E ele faz uma analogia com um cartunista, que deve escolher as características que serão salientadas e as outras que serão ignoradas no desenho.

- 2) Refere-se aos comportamentos complexos que emergem da interação de agentes de menor complexidade.

Para explicar, ele recorre à imagem do formigueiro como um sistema adaptativo complexo. Formigas (sistemas adaptativos de menor complexidade que o formigueiro) têm estereótipos diferentes de acordo com o tipo de sua função. Quando esta característica não se adequa ao seu ambiente, elas morrem. Mas,

quando, agrupadas em um formigueiro, o sistema maior sobrevive.¹⁰ Estes agregados são considerados por Holland como agentes de nível mais alto (*higher level*) ou meta-agentes. Outros exemplos: empresas que se agrupam em uma economia da qual emerge o Produto Interno Bruto (PIB); países que se aproximam orientados por clivagem política que fazem emergir um sistema de alianças que divide o sistema internacional em pólos. Neste sentido, agrupamento é a característica básica de todos os sistemas adaptativos complexos e o fenômeno emergente resultante é o seu aspecto mais enigmático. Estudar sistemas adaptativos complexos nos torna hábeis em discernir sobre quais mecanismos permitem que simples agentes formem agrupamentos altamente adaptativos.

3.2.2 Tagging (“rotulação”)

É um mecanismo que facilita a formação de agregados ou agrupamentos. É como uma bandeira utilizada para reunir os membros de um exército ou de pessoas com identidades políticas similares. Ele facilita interações seletivas permitindo que agentes selecionem entre agentes ou objetos que, de outra maneira, seriam irreconhecíveis. Isto permite interações mais bem estabelecidas, o que beneficia a especialização e a cooperação, levando ao surgimento de meta-agentes e de organizações que se mantêm mesmo que seus componentes se modifiquem continuamente. Portanto, é o mecanismo que está por trás da organização hierárquica de agentes em meta-agentes, meta-meta-agentes, e assim sucessivamente.

3.2.3 Não-linearidade

Para explicar esta propriedade, Holland recorre a equações matemáticas. Como não temos a intenção, aqui, de fazer emergir possíveis traumas dos agentes leitores deste trabalho quando interagem com os conhecimentos das ciências exatas no ensino médio, vamos nos ater a dizer que aquele autor destaca aquilo que já descrevemos acima: mesmo nas mais simples situações, a não-linearidade pode interferir nos

¹⁰ Um tratamento brilhante da mesma analogia (a relação entre formiga e formigueiro e os níveis de análise envolvidos) pode ser encontrada em Douglas Hofstadter (2000), *Gödel, Escher, Bach*, num capítulo em forma de diálogo, intitulado “A Fuga da Formiga”.

agrupamentos, fazendo com que o comportamento destes últimos torne-se mais complicado do que se poderia supor a partir da simples interação entre os agentes.

3.2.4 Fluxos

Para além do movimento dos fluidos, o termo “fluxo” é utilizado também para se referir à movimentação de bens em uma cidade ou ao movimento de capitais entre países. Mais especificamente, o termo aqui se refere à mobilidade entre nódulos e conectores em uma rede. Os primeiros poderiam ser países e os segundos as vias de transporte de bens entre os primeiros. Em geral, os nódulos são agentes e os conectores é que permitiriam as interações entre eles. Assim como os agentes podem se adaptar de maneira bem-sucedida ou não ao seu ambiente, os conectores podem aparecer ou desaparecer. Isso quer dizer que nem as redes e nem os fluxos são permanentes. Eles refletem as mudanças e as experiências acumuladas com o passar do tempo. Os *tags* quase sempre definem esta rede delimitando as interações, porque as adaptações que modificam um sistema adaptativo complexo escolhem os *tags* que irão mediar as interações.

Há duas propriedades de um fluxo:

1) Efeito multiplicador:

Muito comum na economia. Por exemplo: quando se contrata a construção de uma casa, o engenheiro irá contratar pedreiros, marceneiros, serralheiros, que irão contratar seus fornecedores etc. e irão receber os recursos para isso, formando-se, assim, uma rede. Esta propriedade é relevante quando se deseja estimar o efeito que determinado tipo de recurso irá gerar na rede. Assim, poderia ser analisado o impacto no sistema internacional de um embargo aplicado a determinados países.

2) Efeito reciclagem:

Imagine uma cadeia produtiva com três nódulos: um fornecedor de ferro, um produtor de aço e uma montadora de automóveis. O que aconteceria nesta rede se parte dos automóveis que saíssem de circulação passassem a ser reciclados?

Provavelmente haveria mais recursos (ferro) em cada nódulo, aumentando a produção. Até aqui, não é nenhuma surpresa. Mas o efeito global no sistema pode ser impressionante.

3.2.5 Diversidade

A diversidade de um sistema adaptativo complexo é uma dinâmica persistente e coerente. As interações de alguma maneira perturbadas pela extinção de alguns agentes são restabelecidas através do surgimento de novos agentes com características diferentes dos seus antecessores. Os novos são diferentes porque as formas de interação do sistema se desenvolvem, evoluem, a partir daquela nova situação. É o surgimento destes novos agentes que propiciará ao sistema a diversidade, produto de adaptações progressivas que permitem novas possibilidades de interação e novos agregados.

Do item anterior, poderíamos imaginar que novas montadoras poderiam surgir com conceitos de carros distintos dos anteriores, ampliando a oferta de modelos.

3.2.6 Modelos Internos

Modelos internos são mecanismos de um sistema adaptativo complexo utilizados para antecipar algum tipo de evento interno ao sistema. Estes modelos são interiores aos agentes que recebem informações e, a partir daí, alteram sua estrutura interna. Da próxima vez que informações como aquelas forem recebidas, o agente já saberá de antemão como deverá se comportar, o que lhe permite se proteger, por exemplo, se antecipando ao prenúncio de um perigo. Estes modelos só serão úteis se houver repetição das situações modeladas.

3.2.7 Blocos de Montagem

Não é possível preparar uma lista de regras que devem ser consideradas para todas as situações possíveis com as quais um sistema pode se deparar. Assim, o que se

faz é decompor situações anteriores em blocos para, a partir daí, recombina-los quando novas situações surgirem, na tentativa de encontrar o modelo que sugira as ações mais apropriadas a serem tomadas.

Aqui terminamos a apresentação das propriedades e dos mecanismos dos sistemas adaptativos complexos. Podemos perceber que lidar com tal conhecimento não é atividade simples, principalmente para os cientistas sociais, por não estarem familiarizados com abordagens mais técnicas, que remetem ao uso da matemática e da computação. Nas palavras de Berry, Kiel e Elliot (2002, p. 7187), “[t]he difficulty researchers have faced, given the opaque character of social process, is to develop methodologies appropriate for better exploring such complex adaptive systems”. É sobre uma destas metodologias, a modelagem baseada em agentes, que trataremos a seguir, na parte final deste capítulo.

3.3 Modelagem baseada em Agentes

Segundo Berry, Kiel e Elliot, professores da *University of Texas at Dallas*, um crescente número de cientistas sociais estão em busca de novos métodos que lhes permitam investigar as complexidades da dinâmica social. Para aqueles autores,

[o]ne of the emerging developments is the use of agent-based modeling and simulation to examine how social phenomena are created, maintained, and even dissolved. These models, although diverse in their applications and approaches, generally attempt to create “microworlds” or “would-be worlds” in a computer with the goal of determining how the interactions and varied behaviors of individual agents produce structure and pattern. (2002, p. 7187)

E explicam que a modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling*) supõe que tanto a estrutura como os fatos sociais, por exemplo, os mercados ou os comportamentos cooperativos, são criados, a partir da base para o topo do sistema, através de interações entre agentes individuais. Isto é, há uma interação local que se propaga em direção ao sistema como um todo.

Este tipo de simulação é também conhecido como *bottom-up modeling* ou *artificial social systems*. A terminologia mais utilizada é a de *agent-based model*, mas,

independentemente do nome que se dá, o importante é saber que o propósito deste tipo de modelagem é entender as propriedades de sistemas sociais complexos através da análise de simulações.

Such modeling and simulation approaches allow us to create new worlds from scratch, modifying various conditions and parameters as the need arises. Agent-based modeling thus examines “emergent” behavior as structure and pattern develop from the microlevel interactions. The models ask questions such as “how do markets and cooperative behavior among agents emerge?” Thus, agent-based modeling also can be seen as “generative” social science, because the goal is to identify the behavioral and environmental mechanisms that create organization and structure in the human realm. (BERRY, KIEL e ELLIOTT, 2002, p. 7187)

Axelrod (1997) também entende que a modelagem baseada em agentes é a principal metodologia para lidar com sistemas complexos, pois procura explicar como agentes individuais, pessoas, nações ou organizações, por exemplo, interagem uns com os outros e com o seu ambiente. Utilizando recursos de simulação computacional, propriedades emergentes, difíceis de serem modeladas utilizando-se a matemática convencional, têm suas dinâmicas reveladas. Assim, este tipo de metodologia permite que cientistas criem, analisem e experimentem mundos artificiais povoados por agentes que interagem de maneira não-trivial e que constituem o seu próprio ambiente. Estes mundos são sistemas adaptativos complexos, onde a computação se encarrega de simular o processo cognitivo e o comportamento dos agentes para investigar o fenômeno que emerge dessas relações.

The trick [of this computer simulation approach] is to specify how the agents interact, and then observe properties that occur at the level of the whole society. For example, with given rules about actors and their interactions, do the actors tend to align into two competing groups? Do particular strategies dominate the population? Do clear patterns of behavior develop? (1997, p. 3)

Joshua M. Epstein e Robert L. Axtell (1996), ambos da *Brookings Institution*, e com estudos publicados nesta área, referem-se a

agent-based models of social processes as artificial societies. In this approach fundamental social structures and group behaviors emerge from the interaction of individuals operating in artificial environments under rules that place only bounded demands on each agent's

information and computational capacity. We view artificial societies as laboratories, where we attempt to "grow" certain social structures in the computer – or in *silico* – the aim being to discover fundamental local or micro mechanisms that are sufficient to generate the macroscopic social structures and collective behaviors of interest. (p. 3-4)

Segundo eles, tais experimentos envolvem três ingredientes. São eles os agentes, o ambiente ou espaço e as regras. Suas explicações sobre tais elementos vêm a seguir.

Os agentes são as “pessoas” das sociedades artificiais. Cada um deles tem características internas e regras de comportamento. Algumas características são fixas, enquanto outras se alteram a partir das interações com os outros agentes ou com o próprio ambiente em que estão. Como exemplo, em um determinado modelo, o sexo, a taxa metabólica e a visão são características fixas. As outras que vão se alterar ao longo da vida do agente são a sua riqueza, a identidade cultural e a saúde. Suas alterações dependerão das regras de comportamento do agente e do ambiente onde estão.

O ambiente, que pode ser uma superfície dotada de recursos renováveis ou uma rede de comunicação, será o espaço da sociedade artificial onde a vida será vivida. O importante é destacar que o ambiente está separado dos agentes, embora seja nele que estes últimos irão operar e se relacionar.

As regras é que determinarão o comportamento dos agentes e do ambiente. Uma regra de movimento, por exemplo, pode ser: olhar ao redor do ambiente até encontrar o lugar mais provido de comida, ir até ela e comê-la. Estas regras vinculam os agentes ao seu ambiente. E há as regras que regulam as relações entre os próprios agentes, como regras de combate e de comércio.

Do ponto de vista metodológico, Axelrod (1997) localiza esta nova abordagem além da indução e da dedução. Portanto, pode ser considerada uma terceira maneira de fazer ciência, simultaneamente dedutiva e indutiva. O método consiste em iniciar o procedimento com um conjunto de hipóteses a partir do qual serão dedutivamente gerados dados – cuja análise dependerá de validação estatística das simulações “empiricamente” observadas – vale dizer, por indução. Ou seja, ao invés de serem

extraídos do mundo real, como no método indutivo, os dados são produzidos por simulação a partir de um rigoroso conjunto de regras específicas.

Whereas the purpose of induction is to find patterns in data and that of deduction is to find consequences of assumptions, the purpose of agent-based modeling is to aid intuition. Agent-based modeling is a way of doing thought experiments. (AXELROD, 1997, p. 4)

Embora as hipóteses possam ser simples, as conseqüências podem não ser tão óbvias. Isso porque uma das propriedades dos sistemas complexos, emergência (*emergence*), já descrita acima, torna-se presente quando efeitos de grandes proporções são produzidos a partir da interação local dos agentes. Esta propriedade muitas vezes causa surpresa porque não é fácil de ser antecipada mesmo quando se origina de formas simples de interação.

Mas existem modelos em que a emergência pode ser deduzida, utilizando-se a simulação. O autor exemplifica falando dos modelos econômicos neoclássicos. Neles é esperado que atores racionais, com fortes concepções baseadas em informações dadas e capacidade de otimização, façam, entre eles, uma realocação eficiente de recursos através de trocas de custo zero. Porém, se os agentes usarem, ao invés das estratégias otimizadas, a adaptação, ou seja, quaisquer outras atitudes que não aquelas esperadas pelo modelo neoclássico, as conseqüências da interação entre eles seriam impossíveis de se prever. Neste momento, a simulação se faz necessária, conforme mostrado a seguir.

Atualmente, o paradigma da Escolha Racional (*Rational Choice*) desfruta de visibilidade crescente dentre os modelos analíticos das Ciências Sociais, podendo ser percebido, por exemplo, pela larga utilização da Teoria dos Jogos, que se fundamenta naquela idéia. Axelrod atribui isso, única e exclusivamente, à possibilidade freqüente da dedução. Mas percebe, nas formas de comportamento adaptativo, a principal alternativa à Escolha Racional. Naquele tipo de comportamento adaptativo, os agentes seguem regras retroalimentadas que, portanto, tornam não-linear o resultado do processo de interação. Imprevisível, portanto, a partir dos métodos tradicionais.

Deste modo, a simulação de modelos baseados em agentes é, muitas vezes, a única forma viável de estudar atores¹¹ (agentes) adaptativos.

Axelrod lembra que, embora a modelagem baseada em agentes utilize a simulação, o seu objetivo não é fazer uma representação apurada de uma aplicação empírica, em particular. Mesmo porque, como já visto no capítulo 1, modelos são representações parciais da realidade – sem a pretensão, portanto, de replicá-la integralmente. Em vez disso, o alvo é precipuamente teórico: o que se quer é enriquecer o entendimento acerca de processos básicos que aparecem em uma variedade de aplicações. Por mais complicados que sejam os objetos estudados, os modelos têm que ser o mais simples possível. Como dizia Einstein, “everything should be as simple as it is, but not simpler”. A complexidade de um modelo baseado em agentes deve estar nos resultados simulados e não nas suas hipóteses. Portanto, modelos devem ser julgados por seus resultados e não por seu preciosismo ou exatidão. É como no Dilema do Prisioneiro: um modelo simples, mas capaz de capturar a tensão entre egoísmo e a necessidade da busca pela cooperação.

Desta forma, finalizamos este capítulo e a breve apresentação da modelagem baseada em agentes. Para frisar o potencial de suas aplicações em Política Internacional (tema do próximo capítulo), reproduzimos a sugestão de James N. Rosenau, professor de Relações Internacionais da *George Washington University* e um dos estudiosos que mais tem divulgado a modelagem baseada em agentes nessa disciplina:

the pre-post modernist label was essentially a spoof. But the elusiveness of the subject does lead me often to ponder the question of how we can develop a methodology capable of capturing the complex, nonlinear nature of IR today. I think the answer lies in agent-based modeling through computer simulations, but I fear I am too old to tool up in this regard. The most I can do – and I do try – is to impress upon students the need to tool up in the computer sciences. Most are reluctant and reject the advice (indeed, many come into IR in order to get away from mathematics and computational science), but a few

¹¹ O termo “ator” é uma constante nos modelos racionais e talvez o mais adequado, realmente. Ator é aquele que tem a capacidade de interpretar um papel que lhe é atribuído. Ele tem que representar e, efetivamente, exercer aquele papel, seguir um roteiro. Em contraposição, a adaptação parece tornar possível que aquele que age o faça espontaneamente, sem ser enquadrado, ou forçado a representar um papel que não é desejado.

have bought into the idea in recent years with compelling results.
(AYDINLI e ROSENAU, 2004, p. 523)

No próximo capítulo, portanto, nos debruçaremos sobre os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na Política Internacional utilizando-se dessa metodologia.

4 Complexidade e Política Internacional

Durante o processo de elaboração deste trabalho, uma vez definido o seu tema, uma questão nos preocupou durante certo tempo. Ao buscarmos textos que aproximavam, especificamente, Complexidade, Modelagem Baseada em Agentes e Política Internacional, nos deparamos, inicialmente, somente com os livros de Cederman (1997) e de Axelrod (1997). Era pouco material para a revisão bibliográfica que pretendíamos fazer. Mais recentemente, outros estudos foram publicados, demonstrando que o interesse pelo tema tem aumentado entre os pesquisadores da Política Internacional. A primeira parte deste capítulo irá apresentar uma pequena parcela desta produção.

Assim como a vida social constitui um sistema, a política também pode ser entendida como tal. Um sistema político produz, muitas vezes, efeitos inesperados, ou seja, consequências não propositais de interações complexas entre seus elementos constituintes. Como visto no capítulo anterior, sistemas complexos se caracterizam (1) por agentes interconectados que produzem mudanças em outras partes do sistema a partir da alteração de seus próprios comportamentos, e (2) por apresentarem comportamentos e propriedades diferentes das suas partes. Então, a partir disso, Jervis reconhece que

“[i]n politics, connections are often harder to discern, but their existence guarantees that here too most actions, no matter how well targeted, will have multiple effects. [...] When the interconnections are dense, it may be difficult to trace the impact of any change even after the fact, let alone predict it ahead of time, making the system complex and hard to control”. (JERVIS, 1999, p. 11 e 17)

Embora reconheça a política como um sistema, seja no âmbito mais local, seja no âmbito internacional, Jervis não a classifica como um sistema complexo ou um sistema adaptativo complexo. Mas, como ele se baseia na idéia da complexidade para analisar os fenômenos políticos, ele identifica algumas características apresentadas em nosso capítulo anterior, tais como propriedades emergentes, e dinâmicas não-lineares. Ele não concorda com algumas afirmações de que o todo é maior que a soma das partes. O correto seria dizer que o todo é diferente da soma das partes. Para ele,

[r]eductionism – seeking to understand the system by looking only at the units and their relations with one another – is not appropriate. [...] In some cases the concepts we apply to a system (e.g., polarity) cannot be applied to the units that compose it, and in other cases the description of a unit, such as a state being nonaligned, an actor being centrally positioned, or a person playing multiple roles, only makes sense in systemic terms. More strikingly, from the hypothetical fact that everyone in the system possesses a given characteristic, we cannot infer that the system can be so described. Thus the whole may be symmetric, peaceful, or stable only if the parts are not, and a reliable system can be formed from unreliable components. (1999, p. 13 e 15).

Jervis não incorpora em sua análise alguns elementos essenciais da complexidade, tais como a capacidade de adaptação dos agentes, ou a possibilidade de agirem de maneira inesperada. A maior parte de suas críticas à complexidade advém da manutenção de que os atores do sistema são racionais, nos termos da Teoria da Escolha Racional. Desta maneira, ele não direciona sua análise no sentido *bottom-up*, descaracterizando a abordagem metodológica típica da análise de sistemas complexos.

No entanto, é interessante chamarmos a atenção para o terceiro capítulo do livro de Jervis (1999), onde ele faz uma discussão com Kenneth Waltz no que se refere à teoria sistêmica proposta por este último, que tem grande influência entre os estudiosos da Política Internacional. A partir da apresentação do conceito de estabilidade do sistema, proposto por alguns autores (Dina Zinnes, John Herz, Richard Rosecrance, Robert Gilpin), Jervis identifica tal conceito com a noção de paz (estabilidade = paz). Ele contesta esta relação dizendo que

[these] definitions are troublesome. *Peace* is a perfectly good word. Why do we need another one that means the same thing? In common parlance stability has to do with the system's ability to ward off or cope with radical change and the links between this and war need to be explored empirically, not posited by definition. Although balance of power theory argues that wars often are the instrument by which stability is produced, the history of the twentieth century may explain the propensity to equate stability with peace. It is hard to see the two world wars as either exemplifying a stable system or as stabilizing it, even though one could indeed make such an argument, and in the Cold War the connection between peace and stability was even tighter. But definitions that seek to help us understand at least three hundred years of history should not be skewed by the most obvious features of the current era. (JERVIS, 1999, p. 94-95)

Uma abordagem complementar a esta discussão pode ser encontrada no texto de Neil E. Harrison (2006c). Ele reconhece alguma afinidade entre a complexidade e as teorias de sistemas tradicionais comumente aplicadas à política internacional, mais especificamente a partir daquela visão de Waltz. A distinção estaria nos detalhes: “in conventional systems theories, structure is a fixed or only slowly changing determinant of agent behavior. In complex systems, structure is dynamic but ‘organization’ is fixed” (p. 10). Contudo, tal discussão, em particular, não é objeto deste trabalho.

James N. Rosenau, em seu recém-publicado *The Study of World Politics: theoretical and methodological challenges* (2006), dedica um capítulo ao tratamento da complexidade e sua relação com a política internacional. Em determinado momento, ele cita Holland (1995), corroborando a idéia de que existe uma ordem oculta a ser descoberta. Analisando a Política Internacional a partir daquele prisma, ele diz que

[t]here are, in short, good reasons to be hopeful: if those on the cutting edge of inquiry can be sure that human affairs rest on knowable foundations, surely there are bases for encouragement that the dilemmas of real, post-Cold War world are susceptible to clarification and more effective control. Never mind that societies are increasingly less cohesive and boundaries increasingly more porous; never mind that vast numbers of new actor are becoming relevant to the course of events; never mind that money moves instantaneously along the information highway and that ideas swirl instantaneously in cyberspace; and never mind that “connectivity is exploding” such that the feedback loops generated by societal breakdowns, proliferating actors, and boundary-spanning information are greatly intensifying the complexity of life late in the twentieth century. All such transformative dynamics may complicate the task of analysts, but complexity theory tells us that they are not beyond comprehension, that they can be grasped. (ROSENAU, 2006, p. 110)

As dinâmicas tecnológicas, a diminuição da confiança, o encolhimento das distâncias, a globalização das economias, a proliferação de organizações, a revolução da informação, a fragmentação de grupos, a integração de regiões, o surgimento de novas variedades de práticas democráticas, o crescimento do fundamentalismo e o retorno de hostilidades históricas conformam um ambiente complexo até no sentido mais coloquial da palavra, e provocam reações que aumentam a incerteza devido à possível intensificação da não-linearidade própria à dinâmica do sistema. Dado este contexto, Rosenau aponta na teoria da complexidade uma alternativa particularmente oportuna e promissora para lidar com os desafios da agenda contemporânea. No

centro daquela teoria, o autor identifica os sistemas adaptativos complexos, cujas propriedades (vide capítulo 2) permitem analisar um conjunto de sistemas, tais como, a moderna comunidade urbana ou um estado-nação.

Rosenau interpreta o sistema internacional, como, também, um sistema daquele tipo, pois

[L]ike any complex adaptive system in the natural world, the agents that comprise world affairs are brought together into systemic wholes that consist of patterned structures ever subject to transformation as a result of feedback processes from their external environments or from internal stimuli that provoke the agents to break with their established routines. (2006, p. 111)

Ao longo da história, há períodos de estagnação e períodos de turbulência, como parece ser o que atualmente estamos vivendo. Isso gera tensões que se traduzem em alta complexidade e grande dinamismo. Como exemplo, Rosenau analisa a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), enfatizando que ela é bem diferente quando comparada consigo mesma em 1949, 1996 e 2006. Mas o seu processo de transformação não resultou em uma organização totalmente nova. Ao invés disso, sua dinâmica interna permitiu que ela se adaptasse às mudanças, principalmente depois do fim da Guerra Fria.

Apesar de incitar os jovens estudantes a dominarem técnicas computacionais mais elaboradas, como as simulações, Rosenau dá um alento àqueles que repudiam tais ferramentas ao afirmar que é possível lidar com aqueles sistemas sem recorrer a modelos matemáticos ou a sofisticadas simulações computacionais.

Few of us can comprehend the claims in these terms, but if the theoretical strides that have been made are assessed from the perspective of the philosophical underpinnings of complexity theory, it is possible to identify how the theory can serve the needs of those of us in the academic and policy-making worlds who are not tooled up in mathematics or computer science but who have a felt need for new conceptual equipment. (2006, p. 111)

Segundo ele, para cumprir este propósito, seria suficiente compreender quatro características dos sistemas adaptativos complexos: auto-organização e propriedades

emergentes; adaptação e coevolução; o poder de pequenos eventos; e a sensibilidade a condições iniciais.

Outro livro que aborda a política internacional a partir da complexidade é a coletânea organizada por Neil E. Harrison (HARRISON, 2006b). Partindo de uma crítica à Teoria da Escolha Racional, ele propõe a complexidade como uma outra maneira de entender a política internacional, segundo ele, “a better way” (p. 183). O livro apresenta a nova técnica vinculando-a aos elementos da política internacional. Assim, as instituições políticas emergem de interações de indivíduos e de grupos de indivíduos. Estes grupos podem ser locais ou nacionais, mais ou menos coesos, além de possuírem organizações mais centralizadas ou não. As interações entre estes grupos e indivíduos fazem emergir um conjunto de instituições, pessoas e práticas que os estudiosos chamam de Estado. Estes não são sistemas fechados. “[D]efined as political systems, it is open to technological, cultural, and economic systems that influence political choices and process” (p. 8). Os Estados estão também abertos a outros Estados e são influenciados pelas interações entre eles. Alguns sistemas sociais, como grandes corporações e organizações não-governamentais, podem estar dentro ou fora de um Estado, pois cruzam fronteiras e operam sob várias jurisdições. Sistemas como esses estão sujeitos a influências internas e externas, e a mudanças cujos desdobramentos podem ser variados, levando a novas reações dentro do próprio sistema. Os Estados, portanto, além de serem sistemas emergentes, são, também, unidades do sistema internacional. Assim, nos termos de Holland (1995), eles são meta-agentes que, a partir da interação com agentes domésticos, produzirão modelos internos (*internal models*). São estes modelos que irão orientar tanto os agentes estatais quanto os demais agentes domésticos. No caso dos Estados, por poderem ser eles mesmos concebidos como sistemas,

the process of matching internal model to external reality is one of trial and error. If all states are adaptive complex systems, then the international system emerges from coevolution. International norms influence behavior through the internal process of internal model formation, one component of which is the desire to participate in a society of nation-states. (HARRISON, 2006b, p. 10)

Depois de apresentar este novo paradigma e as características dos sistemas complexos, Harrison faz uma comparação entre a nova abordagem e a teoria geral

dos sistemas. Alguns conceitos são comuns às duas, mas diferenças são identificadas, conforme comentamos antes. “Complexity is not a warmed-over version of general systems theory but builds on its ideas to generate theories that better explain issue-areas in world politics”. Outros capítulos se preocupam em ilustrar a complexidade e seus benefícios aplicando-os a áreas específicas. São elas: (1) resolução de conflitos; (2) conflitos étnicos e desenvolvimento na Eurásia pós-União Soviética; e (3) o regime que trata do problema da camada de ozônio.

No primeiro, Dennis J. D. Sandole (2006) verifica que abordagens tradicionalmente competitivas, *realpolitik* e resolução de conflitos, podem não somente co-existir como “more robust guides to identify conflict and formulate policy responses can be constructed by integrating both approaches into a single framework”.

Walter C. Clemens Jr. (2006) tenta entender porque alguns Estados da ex-União Soviética se saíram melhor do que outros. Recursos naturais, educação e homogeneidade étnica não explicam porque estados bálticos e a Eslovênia se juntaram à União Européia, enquanto outros ricos em petróleo e mais homogêneos estão em conflito.

Drawing on complex adaptive systems theories (a version of complexity that uses more life science concepts), Clemens notes that some states were “fitter” than others and so better able to exploit opportunities that opened for them after the collapse of the Soviet empire. Seeking the sources of that fitness, he finds that long-standing, religiously inspired institutions in the Protestant countries developed internal models in the population that reduced ethnic tensions and increased acceptance of democratic virtues. He also shows that his marker for fitness correlates with measures of development and describes how to empirically test his hypothesis.” (HARRISON, 2006b, p. 15)

Para analisar o regime internacional que objetiva proteger a camada de ozônio, Matthew J. Hoffmann (2006) utiliza a noção de coevolução aplicada aos modelos internos dos Estados. “[...] When the United States reconsidered its internal model (with some pressure from domestic groups), it recognized it would have to accept the universality norm and negotiate in good faith with the South to achieve its goal of an effective treaty.” (HARRISON, 2006b, p. 15)

Dois outros capítulos irão tratar de questões quanto ao uso de simulações (AXELROD, 2006; BHAVNANI, 2006) e outros dois farão discussões epistemológicas e metodológicas envolvendo sistemas complexos (EARNEST e ROSENAU, 2006; SAUNDERS-NEWTON, 2006). Assim sendo, na próxima seção faremos uma breve revisão bibliográfica de aplicações que utilizam simulações computacionais a partir de sistemas adaptativos complexos e de modelagem baseada em agentes para, em seguida, concluir o capítulo expondo os limites e os problemas destas novas técnicas e abordagens.

4.1 Simulação e Modelagem baseada em Agentes na Política Internacional

Segundo Cederman (2001), o primeiro pesquisador a utilizar de maneira coerente a modelagem baseada em agentes foi Thomas Schelling, que na década de 70 elaborou um modelo de segregação, que acabou se tornando famoso. O experimento mostra como um padrão de total segregação emerge de movimentos migratórios entre famílias de culturas distintas, mesmo em contexto de relativa tolerância mútua.

Uma aplicação deste método está descrita em *Agent-Based Models in the Study of Ethnic Norms and Violence*, de Ravi Bhavnani (2006). Ele sustenta que a teoria da complexidade com a simulação de modelagem baseada em agentes proporciona uma boa maneira de estudar normas étnicas, que eventualmente chegam mesmo persuadir membros de um grupo étnico a participarem de atos violentos contra os seus rivais. Aquele tipo de modelagem pode ser usado para explorar porque tais normas de comportamento emergem somente em alguns conflitos, prevalecendo em alguns grupos étnicos, mas não em outros, e porque estas normas podem promover tanto a violência étnica como a cooperação. Para efetuar tal estudo, o autor recorre à Ruanda de 1994, retratando o conflito entre os Tutsi e os Hutus.

Outros dois trabalhos, em especial, têm sido muito referidos na literatura sobre o assunto. São eles os trabalhos de Robert Axelrod (1997) e do próprio Lars-Erik

Cederman (1997)¹². Vamos aqui basicamente informar o objetivo de cada um destes trabalhos.

Axelrod trabalha vários modelos ao longo de seu livro. Estes modelos são variações do Dilema do Prisioneiro que serão utilizados para analisar diferentes estratégias e examinar a emergência de novos atores políticos e culturas. O autor desejava ir além daquela tradicional tabela onde interagem somente dois atores. Ele queria descobrir como a cooperação emerge quando muitas pessoas interagem com cada um dos outros grupos. Seu livro se baseia em trabalhos que foram desenvolvidos entre 1986 e 1996, muito influenciados pela transição de um mundo orientado pela Guerra Fria que deixava de existir e que daria lugar a uma nova era. Naquele período, o autor se envolveu em atividades que promoviam a cooperação entre os Estados Unidos e a União Soviética e entre os vários grupos em conflito na antiga Iugoslávia. Os objetos daqueles trabalhos incluem, entre outros: análises de estratégias que se desenvolvem automaticamente, ao invés da interferência humana; elaboração de estratégias para lidar com a possibilidade de desentendimentos entre os jogadores ou de falhas na implementação das escolhas feitas por eles; e colaboração para a construir e reforçar normas de conduta, para ganhar uma guerra ou para impor um padrão industrial. Considerando que a expansão das formas de colaboração implica a expansão das formas de competição, Axelrod inclui em suas análises conflitos entre violadores e guardadores de normas, ameaças e guerras entre nações e competição entre empresas, para citar alguns (p. xi-xii).

Em todos os seus modelos, os agentes são adaptativos ao invés de estritamente maximizadores: “[a]lthough people may try to be rational, they can rarely meet the requirements of information or foresight that rational models impose” (p. 6). A simulação computacional é utilizada para estudar as propriedades emergentes das interações entre aqueles agentes.

Um dos seus estudos objetivava saber qual era a forma de cooperação que emergia quando pessoas organizavam-se a si mesmas em grupos que competiam entre si. É o que acontece nas alianças entre as nações, nas parcerias estratégicas entre

¹² Para outros trabalhos, além dos aqui citados, ver Cederman (2001).

empresas e nas coalizões partidárias em governos democráticos. Seu modelo permitiu entender como os Estados europeus se alinharam na Segunda Guerra Mundial. O mesmo modelo foi aplicado no entendimento do que levou algumas empresas a optarem por desenvolverem o UNIX (sistema operacional).

Sua conclusão sobre os diversos modelos aplicados é a seguinte: “[a]lthough I have no solutions, I believe that analyzing large-scale outcomes in terms of the interactions of actors can enhance our understanding of conflict and cooperation in a complex world.” (p. xiii)

Cederman, por sua vez, baseia seu trabalho em teorias de relações internacionais, mais especificamente, as neorrealistas. Seu projeto é bem sofisticado e robusto. Ele desenvolve o que ele chama de “Emergent Polarity Model”: um mundo imaginário que se inicia com 400 (quatrocentos) estados que competem entre si. Estados predadores são aleatoriamente inseridos em variadas proporções e com regras de comportamento muito simples. Seu objetivo é verificar, do ponto de vista da polaridade, como este mundo se definirá: unipolar, bipolar ou multipolar, com o objetivo de entender a formação de movimentos nacionalistas. Inicialmente, o modelo confirmou a primeira proposição da teoria, que diz que a anarquia promove o poder político, mas depois de algumas rodadas o modelo se opôs às expectativas. Aos poucos ele vai introduzindo novas variáveis como forma de se aproximar da observação empírica. Alianças defensivas, percepção de ameaças, a capacidade do ator em se adaptar e aprender são algumas delas. Modifica, também, a distribuição de recursos. Há noções étnicas e de identidades culturais.

Segundo ele, o modelo permite entender como condições geopolíticas e culturais codeterminam resultados políticos – a formação da Iugoslávia é um exemplo. Explica, também, porque movimentos de libertação nacional, particularmente no Terceiro Mundo, muitas vezes encontram dificuldades depois de um período de independência (p. 218). E conclui,

[i]n summary, the heuristic tools are helpful in discovering empirical patterns that would otherwise have been hard to pinpoint. The emphasis on state formation and nationalism forces the analyst to take history seriously. [...] Dynamic modeling in general, and CAS

simulations in particular, encourage an explicitly historical outlook that directs analytical attention away from context-free regularities across time and space and toward long-term process involving dramatic changes of the main actors' identities. (p. 219)

O modelo de Cederman é bastante envolvente. No entanto, como ele próprio diz, toda metodologia tem os seus problemas. E os sistemas adaptativos complexos não são exceção.

4.2 Limites, Fraquezas e o Problema da Validação

Quando se trabalha com simulação, uma das etapas é verificar se ela está fazendo o que se espera. O uso de programas complicados facilita a ocorrência de erros, que pode provocar a ocorrência de resultados inesperados. Segundo Nigel Gilbert e Klaus G. Troitzsch (2002, p. 21), o processo que checa se um programa está fazendo o que foi planejado é conhecido como verificação.

Por outro lado, a validação determina se um modelo é uma representação precisa do sistema real. Ela pode ser confirmada através da comparação dos resultados da simulação com os dados colhidos no mundo real. Por terem uma natureza altamente abstrata, o processo de validação dos modelos baseados em agentes é muito difícil. Esta validação é o processo que assegura a validade externa ou operacional do modelo referente à sua adequação e precisão relativamente aos dados empíricos (SRBLJINOVIC e SKUNCA, 2003). Por ter grande proximidade com as simulações, este tipo de abordagem recebe muitas críticas, principalmente daqueles que preferem processos dedutivos, como veremos a seguir.

David C. Earnest e James N. Rousenau (2006) entendem que o dinamismo é uma questão central no pensamento contemporâneo sobre sistemas sociais, onde se incluem muitos teóricos das relações internacionais. Eles aceitam a complexidade e a não-linearidade

as a metaphor for the inordinate intricacy of global and international politics. The proliferation and influence of supra- and subnational actors, surprising cascading events like the Eastern European revolutions of 1989 or the current crisis of multilateralism, the

transformative effects of global information technologies; the seemingly chronic inability of existing theories to provide reliable predictions – all these facts understandably make many students of politics and societies sympathetic to theoretical approaches that posit instability, unpredictability, and change in the international system. (p. 144)

Concordam que a complexidade parece ser o paradigma necessário para entender a atual política global. No entanto, destacam que as teorias de relações internacionais estão lentas em adotar a idéia de sistemas complexos devido às barreiras de aprendizado quanto às técnicas necessárias. E argumentam que

those who study international relations have failed to use complexity as a general theory of complex systems (“complex systems theory”) because, while complexity is a meaningful metaphor, complex adaptive systems – at least as conventionally formulated by theorists like Holland and, in political science, Jervis and Axelrod – differ in important ways from social and political systems. (p. 144)

Uma destas diferenças é que sistemas sociais têm estruturas de autoridade que podem ser inconsistentes com a definição de sistemas adaptativos complexos. Naqueles primeiros, a autoridade objetiva *minimizar* a complexidade. Então, segundo aqueles autores, não se pode utilizar teorias de sistemas complexos para modelar sistemas centralizados ou hierárquicos, tipos de sistemas mais comuns no mundo da política. Para eles, através da simulação de sistemas complexos, pesquisadores fazem suposições quanto aos problemas que mais interessam às relações internacionais, em particular, e à ciência política, em geral: quem são os atores e onde estão as autoridades.

Conseqüentemente, fazem uma ponderação em relação ao método de simulação: “the complex adaptive simulations of world politics that we know of are promising yet incomplete. Until the methods of complex systems theory can create artificial authority from the ground up, therefore, we fear its hours on our conceptual stage is drawing to a close” (p. 158-159). A ponderação quanto à ausência usual da consideração de estruturas de autoridade em sistemas complexos é pertinente, e certamente relevante. Contudo, é preciso reconhecer que essas estruturas são, também elas, em princípio modeláveis, a partir de agentes com diferentes atributos. E a exigência de se criar “artificial authority from the ground up” é excessiva: pode-se simplesmente postular a

existência de autoridade, sem necessariamente fazê-la emergir endogenamente ao modelo. Além disso, os sistemas adaptativos complexos não excluem a existência de autoridade. Aliás, eles não tratam, em sua estrutura conceitual, tal condição.

Como alternativa para solucionar o problema levantado, podemos sugerir que, uma vez entendida a autoridade como uma condição emergente da relação entre agentes, ela se tornará um meta-agente (veja acima, neste capítulo). Poderá funcionar também como *flag* passando a ser ponto de referência para os demais agentes que se vincularão mais ou menos a ela caracterizando a agregação como coesa ou fraca. Configurando-se como um agente, esta autoridade alimentará o sistema com regras que poderão ser aceitas ou não pelo restante dos agentes. Estas informações serão lidas pelo sistema como um todo que deverá ser adaptar às novas situações. Enfim, acreditamos que este problema pode ser contornado com a utilização de consistentes teorias que tratem do assunto traduzidas em modelos robustos que contemplem tais situações. Sobre isso, veremos, mais à frente, as sugestões de Cederman sobre a relação entre a modelagem e o uso de teorias.

Em geral, Earnest e Rosenau (2006) baseiam suas críticas em duas premissas:

- 1) Presumem que a chamada teoria dos sistemas complexos é, de fato, teoria; e
- 2) para sustentar sua condição de teoria, os sistemas complexos utilizam-se de seu principal método, a modelagem baseada em agentes, que conforme visto acima julgam ineficiente.

Quanto ao primeiro ponto, os próprios autores concordam que a crítica só se sustenta se os sistemas complexos, entendidos como teoria, se enquadrarem numa epistemologia positivista. Caso contrário, a crítica se torna inapropriada. Não vamos tratar desta questão aqui. No entanto, podemos dizer que, a partir de nossas leituras, não podemos considerar que já esteja consolidado um campo teórico relativo aos sistemas complexos. No início do capítulo dois deste trabalho, ao apresentarmos este campo, dissemos que há, inclusive, intercâmbio entre os termos complexidade, sistemas complexos e teoria de sistemas complexos ou da complexidade. Isso, por si só, sugere uma indefinição acerca de sua condição, no plano epistemológico. Talvez ele se apresente menos como campo teórico e mais como uma técnica, de natureza

metodológica. Sendo este o caso, os chamados sistemas adaptativos complexos poderão, caso se mostrem fecundos, constituir um ponto de partida no processo de construção de novos campos teóricos em variadas disciplinas – incluindo, em princípio, a Política Internacional. É inegável que, a esta altura, o recurso científico a sistemas complexos encontra-se ainda em maturação, principalmente nas Ciências Sociais.

Apesar de dizerem que suas críticas não intencionam condenar a teoria, mas sim, encorajar seus praticantes a explicitar os debates que fundamentam seu conhecimento, responderemos à segunda crítica de Earnest e Rosenau a partir das considerações feitas por Cederman ao tratar das fraquezas dos sistemas adaptativos complexos.

Para Cederman (1997), as críticas a esta abordagem se centram em quatro pontos que reproduzimos abaixo (p. 62 e 63):

- 1) *Ad hoc assumptions*: As opposed to the axiomatic foundations of rational-choice theory, simulation models, especially those assuming bounded rationality, rest on ad hoc assumptions. The flexibility of simulation techniques can encourage intellectual sloppiness as modelers succumb to the temptation to add bells and whistles without proper appreciation of the results;
- 2) *Failure to yield unique prediction*: The emphasis on path dependence leads to ambiguous or even chaotic results that cannot be falsified. Neoclassical models generally avoid this trap by producing unique equilibria.
- 3) *Fragility of results*: Even when simulation models yield unique results, there is no guarantee that these are not an artifact of specific parameter configurations. Closed-form mathematical models generate finding that are verifiable for the entire parameter space. Moreover, it is often possible to study the effect of each parameter with comparative statics, an option that is absent in simulation research since analytically differentiable expressions are lacking;
- 4) *Lack of cumulation*: As opposed to mathematical models, simulation models are usually implemented as hundreds of lines of computer code. Not only is it harder to understand what a simulation system really dos on the micro level, it is also nearly impossible to replicate the results. Consequently, scientific progress is seriously impaired.

Cederman considera que estas questões estão mais relacionadas à maneira pela qual se tem praticado a simulação do que ao valor potencial da modelagem dos sistemas adaptativos complexos. Ele, então, responde os pontos levantados sugerindo formas de minimizar as desvantagens do método.

Quanto ao primeiro (suposições *ad hoc*), ele apresenta o argumento de Kreps, uma referência quando se trata de Teoria dos Jogos, que reproduzimos a seguir:

Even if a particular model is based on an *ad hoc* prescription of behavior and is analysed with simulations only, this does not mean that one cannot learn a great deal from the exercise. Economic theorists (and I include myself) too often lose sight of the fact that while we may not be too restrictive in the behavioural assumptions we make... we make enormously strong *ad hoc* assumptions in the range of actions we allow the actors in our models. The excuses we offer are often that we can use intuition guided by experience to factor in those things omitted from our model and, in the end, the test must be empirical. Why not employ the similar open-minded skepticism about simulations of *ad hoc* behavior? (p. 63)

Há suposições tácitas inerentes a modelos, inclusive a crença de que todos os atores agirão racionalmente. Estas suposições são tão aceitas pelos estudiosos que não são mais contestadas.

Quanto à crítica sobre a negligência intelectual que as simulações podem possibilitar, Cederman sugere duas medidas para evitar esta tentação: 1) confiar em teorias quando das escolhas dos mecanismos e das suposições do modelo; 2) desenvolver o modelo passo a passo e reiniciar a análise, de tempos em tempos, desde o ponto de partida, e incrementar o modelo com características teóricas.

A segunda crítica (fracasso em sustentar predições inequívocas), na visão do autor, reflete uma obsessão metafísica com predições únicas ao invés de indicar uma deficiência da modelagem de sistemas adaptativos complexos. Aqueles críticos confundem dois tipos de simulação: 1) a tradicional, endereçada à produção de projeções para tomadores de decisão; e 2) a endereçada a processos heurísticos ao invés de preditivos. É esta segunda a principal utilização da modelagem de sistemas adaptativos complexos.

“Simulation is used at a prototheoretical stage, as a vehicle for thought experiments. The purpose of a model lies in the act of its construction and exploration, and in the resultant, improved intuition about the system’s behavior, essential aspects and sensitivities” (Kreutzer *apud* CEDERMAN, 1997, p. 64).

“We are seldom interested in explaining or predicting phenomena in all their particularity; we are usually interested only in a few properties abstracted from the complex reality” (Simon *apud* CEDERMAN, 1997, p. 64)

Sobre a queixa de número três (fragilidade dos resultados), Cederman reconhece ser a mais séria ameaça às pesquisas baseadas em sistemas adaptativos complexos. Concorde que modelos matemáticos são preferíveis, se disponíveis. Mas não é isso que normalmente acontece. Pesquisadores se aderem às simulações por afeição ao método, devem assumir os problemas relativos a ele, inclusive as complexidades associadas à *path dependence* e às identidades coletivas. É isso que fazem os dedutivistas mais ortodoxos. Mas abandonar o método só porque não se enquadram em elegantes formalizações teóricas não irá permitir possíveis avanços de nosso entendimento sobre o mundo.

Para minimizar a fragilidades dos resultados, Cederman recomenda quatro práticas (p. 64-65):

- i) The goal of probing plausibility requires above all translating the findings back into a more intuitive formulation. Such heuristic insights can usually be grasped *independently* of the simulation framework, and are thus less likely to be vulnerable to accusations of parameter sensitivity;
- ii) Game-theoretical models often fall short of the robustness that their creators and supporters call for. There is, as we have argued above, often a fair amount of arbitrariness hidden in deductive-model specifications. Formal elegance comes at the price of considerable rigidity that implicitly discourages sensitivity testing since mechanisms and functional forms are usually hard-wired into game forms and utility functions. Ironically, thanks to their greater flexibility, CAS models allow for easier sensitivity testing than deductive frameworks, and can even cast light on the robustness of neoclassical equilibrium results;
- iii) It is not always the case that we need to know everything about the entire parameter space. Again, substantive theory may be of great help in cutting down the range of parameter values to a smaller set;
- iv) The contribution of “intuitive” calibration should not be underestimated. Since CAS models allow the analyst to observe the system as it unfolds, it becomes possible to check whether the results make qualitative sense.

Quanto à quarta e última crítica destacada (falta de cumulatividade), Cederman até concorda que a comunicação científica e a replicação são mais difíceis. No entanto, contesta que a acumulação seja impossível. Enquanto, os métodos dedutivos constituem uma comunidade de pesquisa que se beneficia da massa crítica da “ciência normal” kuhniana, os sistemas adaptativos complexos têm que “fight an uphill battle” (p. 65): os pesquisadores que utilizam este tipo de método têm dedicado grande parte de seu tempo em desenvolver algoritmos inteligentes ao invés de interpretar e comunicar os resultados alcançados. Portanto, não há razão para que a acumulação não aconteça.

Quanto à divulgação dos resultados Gilbert e Troitzsch (2002) dizem que,

[i]deally, the reader should be able to grasp the social science aspects of the research without being drowned in detail, but should also be able to replicate the simulation, if he or she wants to understand precisely how it works. These objectives are in tension with one another. Often, there is not space within the length of a conventional journal article or of a chapter in a book to describe a simulation sufficiently to enable replication to be carried out. One solution is to publish the code itself on the Internet. A more radical solution is to publish in one of the increasing number of electronic journals which, because they are not constrained by the costs of paper and printing, can include not only an article of standard length, but also the code, sample runs and other materials. An electronic journal also has no difficulty in publishing colour graphics, animations and other multimedia formats which would be impossible or prohibitively expensive to reproduce on paper. (p. 24-25)

Feitas as defesas, Cederman reconhece que não há substituto para a modelagem matemática. Mas, desde que possível, defende que os métodos dedutivo e indutivo sejam utilizados em paralelo. E conclui (CEDERMAN, 1997, p. 68-69):

A brief look at the work of the pioneers of complex-systems modeling should convince the skeptic that the absence of formal proofs and detailed empirical predictions does not make this mode of research any less scientific than more conventional research approximating the narrow criteria of logical positivism. Prominent examples include Thomas Schelling’s segregation models and Robert Axelrod’s computer tournaments. Using an extremely simple checkers-like setup while adding his own rules, Schelling was able to create segregation between two “ethnic” communities represented by white and black tokens. This phenomenon appeared regardless of the specific initial

configuration. While drawing on computer experiments, Axelrod also investigated the robustness of a generic process. Pitting a wide range of computer programs against each other, he was able to demonstrate a stunning result: faced with much more elaborate competitors, the simplest algorithm, submitted by Anatol Rapoport, won the entire tournament. Because this program followed a very simple rule of reciprocity, dubbed Tit For Tat, Axelrod was able to gain useful insights about the nature of cooperation in a broad range of contexts, including interstate bargaining. These examples illustrate that, to be of substantive value, social science does not have to revolve around the theory-hypothesis-test cycle prescribed by empirical positivists.

Para encerrar, faremos algumas considerações sobre os limites da teoria da complexidade, conforme Rosenau (2006).

In short, there are strict limits within which theorizing based on the premises of complexity theory must be confined. It cannot presently – and is unlikely ever to – provide a method for predicting particular events and specifying the exact shape and nature of developments in the future. As one observer notes, it is a theory “meant for thought experiments rather than for emulation of real systems”. [...] At the same time, however, there are some signs of positive institutional developments designed to harness the potentials of complexity theory to the conditions of the epoch of fragmentation [fragmentação + agregação] that has emerged since the end of Cold War. [...] Perhaps an even more fully institutionalized example is that of the Conference on World Regions, which seeks to link complexity theory to the nonlinear dynamics of fragmentation by achieving “a high degree of intellectual resonance between the emerging scientific paradigm of complexity theory and an emerging political paradigm of *global regionalism*: a political model that seeks to catalyze the emergence of a nonhierarchical, self-organizing regime of horizontally linked regions and their leading private-sector actors pursuing a shared vision of ever-intensifying political devolution and ever more convergent economic, regulatory, and political processes”. (p. 115)

Concordamos com ele quando diz que muitos dos pesquisadores não têm as habilidades necessárias exigidas no sofisticado mundo das simulações computacionais. No entanto, a complexidade não está fora de alcance, enquanto perspectiva filosófica. Nenhuma de suas premissas ou conceitos são estranhos aos seus procedimentos analíticos tradicionais. Eles englobam uma perspectiva que é consistente a nós mesmos e às transformações que parecem conduzir o mundo a algo, até então, não familiar.

E concluímos compartilhando dos dizeres de Harrison (2006a, p. 193), quando diz que o paradigma da complexidade oferece uma nova perspectiva na política internacional

que poderá gerar novas teorias e modelos. Ele encoraja a utilização de métodos inovadores para entender a realidade política e auxiliar os *policy-makers*, além de indicar a possibilidade de desenvolvimento de teorias de sistemas complexos e de testá-las empiricamente. Este paradigma pode ampliar o nosso entendimento quanto à complexidade da política internacional e reduzir a probabilidade de que eventos nos surpreendam.

5 Conclusão

Sistemas complexos e modelagem baseada em agentes são relativamente novos nas Ciências Sociais, principalmente na Ciência Política. No entanto, podemos verificar que o interesse pela área tem crescido. Basta observar o número de universidades que têm oferecido aos seus estudantes, normalmente de pós-graduação, cursos específicos desta natureza. Uma rápida pesquisa aponta para alguns cursos do tipo: *Complexity Theory in the Social Sciences* e *Nonlinear Systems: Agent-Based and Computer Intensive Modeling* (Department of Political Science, University of Michigan); *Politics, Agent-Based Modeling, and Computer Simulation* (Department of Political Science, University of Pennsylvania); e, *Introduction to Computational Modeling of Social Systems* (International Conflict Research, Swiss Federal Institute of Technology Zurich).

Isto comprova o que diz Neil E. Harrison (2006c):

[m]ost social sciences have begun to embrace complex systems concepts. Ideas from thermodynamics coupled with a concern for economic system's environmental effects led to the development of ecological economics that specifically models the economy as an open system. Brian Arthur and others have identified the presence and effect of feedback loops in economic systems. Complex systems approaches have attracted sociological interest and touched public administration and organization studies. Even political science is not immune, though efforts are disparate and inchoate. (p. 13)

Como pudemos observar ao longo deste trabalho, apesar de recente, a Complexidade já tem tido uma boa penetração nos estudos da Política Internacional. Autores como James N. Rosenau (2003; , 2004; EARNST e ROSENAU, 2006; HARRISON, 2006b; , 2006), Robert Jervis (1990; , 1999), Lars-Erik Cederman (1997), John Urry (2003) e Neil E. Harrison (2006b), entre outros, têm sido os pioneiros nesta área. Seus trabalhos têm mostrado que uma outra maneira de entender o mundo é possível. Um novo paradigma aliado a uma nova metodologia que, apesar das críticas contundentes, têm se mostrado consistentes. Isto confirma Axelrod (1997) quando diz que

[...] the concepts of complexity theory and the techniques of agent-based modeling can indeed serve as effective research tools [...]. Just as game theory has served to unite studies of strategy across the social sciences and evolutionary biology, so complexity theory and agent-based modeling may serve to unite studies of emergent phenomena across an equally wide range of fields. (p. 206)

The relatively embryonic state of agent-based modeling leaves open the future direction of this approach to understanding in the social sciences. Further advances in developing both more user-friendly software platforms and more complex agents and landscapes will serve to enhance this research paradigm and surely will reveal whether agent-based modeling represents a revolution in social science research, as some claim, or a mere incremental evolutionary advance in understanding social dynamics. (BERRY, KIEL e ELLIOTT, 2002, p. 7188)

Mesmo com todos os problemas discutidos no último capítulo, talvez o maior deles tenha sido apontado por Dennis Sandole (2006, p. 50): “[...] few of us have been educated that way: we receive our degrees usually in only one discipline, and therefore we as analysts may also be more a part of the problem than we are of the solution”.

Finalizando, podemos dizer sobre sistemas adaptativos complexos e modelagem baseada em agentes o mesmo que Daniel Elsberg disse sobre “System Analysis and the use of logical models”:

[they] will not eliminate uncertainty or insure correctness; will not foresee all major problems, goals, contingencies, and alternatives; will not eliminate the necessity of judgment or the effect of bias and preconception. Hopefully, they will tend to increase the influence of the "best," most informed, judgments, both on component matters and in the final weighing of decisions; they can provide choices and a market of ideas. They can discover problems, stimulate relevant questions, and encourage people to face complexity and uncertainty explicitly and honestly. (*apud* SPECHT, 1968, p. 226-227)

REFERÊNCIAS

Alker Jr., Hayward R. Decision-Makers' Environments in the Inter-Nation Simulation. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 31-58

_____. Global Modeling Alternatives: The First Twenty Years. In: Ward, Michael Don (Ed.). **Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow**. Boulder: Westview Press, 1985, p. 9-37

Axelrod, Robert. **The Complexity of Cooperation: agent-based models of competition and collaboration**. Princeton: Princeton University Press. 1997. xiv+233 p. (Princeton Studies in Complexity)

_____. Alternative Uses of Simulation. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm**. Albany: State University of New York Press, 2006, p. 137-141. (Global Politics)

Aydinli, Ersel e Rosenau, James N. Courage Versus Caution: A Dialogue on Entering and Prospering in IR. **International Studies Review**, v. 6, p. 511–526. 2004.

Baylis, John e Smith, Steve (Eds.). **The Globalization of World Politics: an introduction to international relations**. New York: Oxford University Press, p. 811, 3rd ed. 2006.

Berry, Brian J. L., *et al.* Adaptive agents, intelligence, and emergent human organization: Capturing complexity through agent-based modeling. **PNAS**, v. 99, n. Supl. 3, p. 7187–7188. 2002.

Bhavnani, Ravi. Agent-Based Models in the Study of Ethnic Norms and Violence. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm**. Albany: State University of New York Press, 2006, p. 121-136. (Global Politics)

Bremer, Stuart A. The GLOBUS Model: History, Structure, and Illustrative Results. In: Ward, Michael Don (Ed.). **Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow**. Boulder: Westview Press, 1985, p. 39-77

Browning, Rufus. Hypotheses about Political Recruitment: A Partially Data-Based Computer Simulation. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 303-325

Brunner, Ronald D. Some Comments on simulating Theories of Political Development. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 329-342

Casti, John L. **The Simply Complex**, p. 14. Disponível em <http://internet.cybermesa.com/~roger_jones/d/010203%20the%20simply%20complex.pdf>.

_____. The Computer as a Laboratory: toward a theory of complex, adaptive systems. **Complexity**, v. 4, n. 5, p. 12-14. 1999.

Cederman, Lars-Erik. **Emergent actors in world politics: how states and nations develop and dissolve**. Princeton: Princeton University Press. 1997. 258 p. (Princeton Studies in Complexity)

_____. Agent-Based Modeling in Political Science. **The Political Methodologist**, v. 10, n. 1, Fall 2001, p. 16-23. 2001.

Clemens Jr., Walter C. A Propositional Analysis of the International Relations Theory in Temper - A Computer Simulation of Cold War Conflict. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 59-101

Clemens, Walter C., Jr. Understanding and Coping with Ethnic Conflict and Development Issues in Post-Soviet Eurasia. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm**. Albany: State University of New York Press, 2006, p. 73-93. (Global Politics)

Coombs, Stevens L., *et al.* An Approach to Election Simulation through Modular Systems. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 286-299

Coplin, William D. **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company. 1968. x+365 p. (Markham Political Science Series)

Crecine, John P. A Simulation of Municipal Budgeting: The Impact of Problem Environment. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 115-146

Cruickshank, Donald R., *et al.* Simulations and Games: An ERIC Bibliography, 1979-1986. Washington, DC: ERIC Clearinghouse on Teacher Education, American Association of Colleges for Teacher Education, p. 177. 1987.

Dalkey, Norman C. Simulation. In: Quade, E. S. e Boucher, W. I. (Ed.). **System Analysis and Policy Planning: applications in defense**. New York: American Elsevier Publishing Company, 1968, p. 241-254

Dawson, Richard E. Simulation in the Social Sciences. In: Guetzkow, Harold (Ed.). **Simulation in Social Science: readings**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962, p. 1-15

Earnest, David C. e Rosenau, James N. Signifying Nothing? What Complex Systems Theory can and cannot tell us about Global Politics. In: Harrison, Neil E. (Ed.).

Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm. Albany: State University of New York Press, 2006, p. 143-163. (Global Politics)

Eco, Umberto. **Como se Faz uma Tese.** São Paulo: Editora Perspectiva. 1999. 170 p.

Edward, P. Holland. Principles of Simulation. **The American Behavioral Scientist (pre-1986)**, v. 9, n. 1, p. 6. 1965.

Ellison, John. **Simulations.** Disponível em <http://informatics.buffalo.edu/faculty/ellison/Syllabi/519Complete/formats/simulations/simulat.htm>. Acessado em 29/09/2006.

Epstein, Joshua M. **Complex Systems Approaches to Population Health.** Ann Harbor, 2007. p.

Epstein, Joshua M. e Axtell, Robert L. **Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up.** Cambridge, Mass.: MIT Press. 1996. 208 p.

Gershenson, Carlos. **Design and Control of Self-organizing Systems.** Faculteit Wetenschappen, Vrije Universiteit Brussel, 2007. 174 p.

Gilbert, Nigel e Troitzsch, Klaus G. **Simulation for the Social Scientist.** Buckingham: Open University Press. 2002

Greenblat, Cathy Stein e Uretsky, Myron. Simulation in Social Science. **American Behavioral Scientist**, v. 20, n. 3, Jan/Feb 1977, p. 16. 1977.

Guetzkow, Harold (Ed.). **Simulation in Social Science: readings.** Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, p. xv+199. 1962a.

_____. A Use of Simulation in the Study of Inter-nation Relations. In: Guetzkow, Harold (Ed.). **Simulation in Social Science: readings.** Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962b, p. 82-93

_____. Simulations in International Relations. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics.** Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 9-30

Guetzkow, Harold, *et al.* **Simulation in International Relations: Developments for Research and Teaching.** Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1963. viii+248 p.

Harrison, Neil E. Complex Systems and the Practice of World Politics. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm.** Albany: State University of New York Press, 2006a, p. 183-196. (Global Politics)

_____. (Ed.). **Complexity in World Politics.** Global Politics. Albany: State University of New York Press, p. 213, Global Politics. 2006b.

_____. Thinking About The World We Make. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm**. Albany: State University of New York Press, 2006c, p. 1-23. (Global Politics)

Hoffmann, Matthew J. Beyond Regime Theory: complex adaptation and the Ozone Depletion Regime. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm**. Albany: State University of New York Press, 2006, p. 95-119. (Global Politics)

Hofstadter, Douglas. **Gödel, Escher, Bach**. Brasília: Editora UnB. 2000

Holland, John H. Complex Adaptive Systems. **Daedalus**, v. 121, n. 1, Winter 1992, p. 17-30. 1992.

_____. **Hidden Order: how adaptation builds complexity**. New York: Basic Books Helix Books. 1995. xxi+185 p.

_____. Studing Complex Adaptive Systems. **Jrl Syst Sci & Complexity**, v. 19, p. 1-8. 2006.

Jervis, Robert. Models and Cases in the Study of International Conflict. **Journal of International Affairs**, v. 44, n. 1, p. 81. 1990.

_____. **System Effects: complexity in political and social life**. Princeton: Princeton University Press. 1999. 309 p.

Johnson, Paul E. Simulation Modeling in Political Science. **American Behavioral Scientist**, v. 42, n. 10, August 1, 1999, p. 1509-1530. 1999.

Kumar, Mahendra. [Untitled]. **Canadian Journal of Political Science / Revue canadienne de science politique**, v. 26, n. 4, p. 834-835. 1993.

Mcleod, John. Simulation Today - from Fuzz to Fact. **Simulation**, v. 20, n. 3, March 1, 1973, p. 9-12. 1973a.

_____. Simulation: From Art To Science for Society. **Simulation**, v. 21, n. 6, December 1, 1973, p. 77-80. 1973b.

Mielants, Hans e Mielants, Eric. The Importance of Simulation as a Mode of Analysis: theoretical and practical implications and considerations. **BTNG-RBHC**, v. XXVII, n. 3-4, p. 293-322. 1997.

Moore, Charles G. Simulation of Organizational Decision Making: A Survey. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 183-226

Morton, Rebecca B. What Makes a Model Formal? In: Morton, Rebecca B. (Ed.). **Methods and Models: a guide to the empirical analysis of formal models in political science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999, p. 33-74

Narzisi, Giuseppe, *et al.* **Complexities, Catastrophes and Cities: Unraveling Emergency Dynamics**. International Conference on Complex Systems (ICCS2006). Marriott Boston Quincy, Boston, MA, USA, 2006. 9 p. Disponível em <<http://necsi.org/events/iccs6/viewpaper.php?id=135>>.

Newell, Allen e Simon, Herbert A. Simulation: Individual Behavior. **International Encyclopedia of the Social Sciences**. Sills, David L.: The Macmillan Company & The Free Press. 14. 1968.

Nunn, Robin J. Complexity Theory Applied to Itself. **E:CO**, v. 9, n. 1-2, p. 93-106. 2007.

Orcutt, Guy H. Simulation of Economic Systems. **The American Economic Review**, v. 50, n. 5, p. 893-907. 1960.

Pepinsky, Thomas B. From Agents to Outcomes: Simulation in International Relations. **European Journal of International Relations**, v. 11, n. 3, p. 367–394. 2005.

Ray, Paul H. e Duke, Richard D. The Environment of Decision-Makers in Urban Gaming Simulations. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 149-176

Raza, Salvador Ghelfi. Laboratório de Políticas: Teoria e Prática do Desenvolvimento de Jogos, Simulações e Modelos em Relações Internacionais. Washington, D.C., p. VIII+160. 2003. Mimeo.

Rosenau, James N. **Distant Proximities: dynamics beyond globalization**. Princeton: Princeton University Press. 2003. 439 p.

_____. **The Study of World Politics: theoretical and methodological challenges**. New York: Routledge, v. 1. 2006. 301 p.

Rosenthal, Howard. Voting and Coalition Models in Election Simulations. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 237-285

Sandole, Dennis J. D. Complexity and Conflict Resolution. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm**. Albany: State University of New York Press, 2006, p. 43-71. (Global Politics)

Saunders-Newton, Desmond. When Worlds Collide: reflections on the credible uses of agent-based models in international and global studies. In: Harrison, Neil E. (Ed.). **Complexity in World Politics: concepts and methods of a new paradigm**. Albany: State University of New York Press, 2006, p. 165-182. (Global Politics)

Snidal, Duncan. Formal Models of International Politics. In: Sprinz, Detlef F. e Wolinsky-Nahmias, Yael (Ed.). **Models, Numbers, and Cases: Methods for Studying International Relations**. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 2004, p. 227-264

Specht, R. D. The Nature of Models. In: Quade, E. S. e Boucher, W. I. (Ed.). **System Analysis and Policy Planning: applications in defense**. New York: American Elsevier Publishing Company, 1968, p. 211-227

Srblijinovic, Armano e Skunca, Ognjen. An Introduction to Agent Based Modelling and Simulation of Social Process. **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, v. 1, n. 1-2, p. 1-8. 2003.

Strauch, Patricia G. Modeling in the Social Sciences: an approach to good theory and good policy. **Simulation**, v. 26, n. 1, p. 153-156. 1976.

Urry, John. **Global Complexity**. Cambridge, UK: Polity Press. 2003. 172 p.

Waldrop, M. Mitchell. **Complexity: the emerging science at the edge of order and chaos**. New York: Simon & Schuster. 1993. 380 p.

Ward, Michael Don. Simulation and Stimulation: Four Decades of International Relations Scholarship. In: Ward, Michael Don (Ed.). **Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow**. Boulder: Westview Press, 1985a, p. 1-7

_____. **Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow**. Boulder: Westview Press. 1985b. xvi+625 p.

Zald, Mayer N. e Schliewen, Rolf. Ethno-Methodology and Simulation of Organizational Decision Making. In: Coplin, William D. (Ed.). **Simulation in the Study of Politics**. Chicago: Markham Publishing Company, 1968, p. 227-233