

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

DANIEL VOIGT GODOY

**O PAPEL DAS INSTITUIÇÕES NA EMERGÊNCIA DA COOPERAÇÃO:  
REIMPLEMENTANDO O MODELO DE METANORMAS DE AXELROD NO  
*FRAMEWORK* DE ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL (IAD)  
DE OSTROM**

PORTO ALEGRE

2013

DANIEL VOIGT GODOY

**O PAPEL DAS INSTITUIÇÕES NA EMERGÊNCIA DA COOPERAÇÃO:  
REIMPLEMENTANDO O MODELO DE METANORMAS DE AXELROD NO  
*FRAMEWORK* DE ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL (IAD)  
DE OSTROM**

Trabalho de conclusão submetido ao curso de Graduação em Economia, da faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como quesito parcial para a obtenção do título Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Sabino da Silva Porto Júnior

PORTO ALEGRE

2013

DANIEL VOIGT GODOY

**O PAPEL DAS INSTITUIÇÕES NA EMERGÊNCIA DA COOPERAÇÃO:  
REIMPLEMENTANDO O MODELO DE METANORMAS DE AXELROD NO  
FRAMEWORK DE ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL (IAD)  
DE OSTROM**

Trabalho de conclusão apresentado à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovado em ..... de ..... de 2013 pela Banca Examinadora.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Sabino da Silva Porto Júnior

UFRGS

---

Prof. Dr. Sérgio Marley Monteiro

UFRGS

---

Prof. Dr. José Roberto Iglesias

UFRGS

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse trabalho fosse concebido, elaborado e finalizado. Primeiramente, à minha namorada, Jerusa, que se mostrou companheira e compreensiva durante esses meses de trabalho e que, pacientemente, me ouvia contar cada nova ideia ou resultado encontrado. Quero agradecer também ao meu grande amigo e colega de trabalho, Rafael, por contribuir, através de nossas discussões, com ideias, críticas e questionamentos. E, por fim, ao meu professor e orientador, Sabino, por ter proporcionado a oportunidade de desenvolver esse trabalho e, principalmente, por ter plantado a semente inspiradora do mesmo em uma de suas aulas de Econometria Aplicada, e sem a qual esse trabalho não existiria.

## RESUMO

Os jogos cooperativos têm recebido cada vez mais atenção na literatura econômica. Os mecanismos que permitem a cooperação entre os agentes são objeto de estudo de importantes autores. Axelrod propôs um Jogo de Metanormas, onde o sucesso era definido pelo estabelecimento de uma norma social na população de agentes dotados de dois atributos: “ousadia” e “vingança”. Posteriormente, outros autores propuseram refinamentos, como a não-onisciência dos agentes e a implementação de redes complexas entre eles. Ostrom investigou o papel das instituições na emergência da cooperação no caso da exploração de um recurso comum, especialmente em pequenas comunidades, propondo um *framework* de Análise e Desenvolvimento Institucional (IAD), que considera, dentre outras coisas, o fator cultural. A disseminação da cultura, por sua vez, foi outro modelo proposto por Axelrod, onde agentes semelhantes tendem a interagir mais e a se tornarem ainda mais semelhantes. A simulação computacional ou, mais especificamente, a simulação social baseada em agentes, é a ferramenta por excelência para o estudo do comportamento emergente das interações entre agentes que obedecem a um conjunto definido de regras.

Nesse trabalho, o objetivo é investigar o papel das instituições na emergência da cooperação e no estabelecimento de uma norma social, através de simulações baseadas em agentes, considerando um contexto de apropriação de um recurso de uso comum. O modelo proposto reimplementa o Jogo de Metanormas de Axelrod em redes livres de escala no *framework* de Análise e Desenvolvimento Institucional, considerando ainda que os agentes alteram seus atributos através de uma versão modificada do modelo de Disseminação da Cultura de Axelrod. Consideramos uma população inicial desertora, onde a norma social está colapsada, e introduzimos instituições com diferentes características – exógenas ou endógenas, fortes ou fracas, abrangentes ou limitadas – observando sua capacidade de transformar os atributos da população. Os resultados encontrados indicam que arranjos institucionais endógenos são mais eficazes no longo prazo e que, na maioria dos casos, a possibilidade de controle social é suficiente para o estabelecimento da norma.

Também mostram que a estabilidade da norma é maior em comunidades médias ou grandes e que comunidades pequenas são capazes de estabelecer normas rapidamente, mas sua estabilidade é dependente da existência de controle social. Finalmente, indicam que a neutralidade (ou indiferença) aos valores institucionais é um obstáculo ao estabelecimento de uma norma.

**Palavras-chave:** Jogo de Metanormas de Axelrod, *Framework* de Análise e Desenvolvimento Institucional, Emergência da Cooperação.

**Classificação JEL:** C71, C73, D02, Z13

## ABSTRACT

The economic literature is devoting increasing attention to cooperative games. The mechanisms that allow agents to cooperate are the subject of study of many important authors. Axelrod proposed a Metanorms Game where success was defined by the establishment of a social norm in a population of agents with two attributes: boldness and vengefulness. Then, several refinements to the original model were proposed by different authors, like overcoming omniscience of the agents and considering complex networks linking them. Ostrom investigated the role of institutions in the emergence of cooperation in the exploration of a common-pool resource, proposing the Institutional Analysis and Development (IAD) framework which considers, among other things, the role of culture. The dissemination of culture, another model proposed by Axelrod, is a model where similar agents interact more frequently and become even more like each other. The computer simulation or, more precisely, the agent based social simulation, is the ultimate tool to investigate the emergent behavior from the interactions between rule-defined agents.

In this work, the goal is to investigate the role of institutions in the emergence of cooperation and the establishment of a social norm, by means of agent-based simulations, in the context of a common-pool resource appropriation. The model proposed reimplements Axelrod's Metanorms Game in scale-free networks in the Institutional Analysis and Development framework, where agents change their attributes through a modified version of Axelrod's Dissemination of Culture model. We consider an initial population of defectors, where the social norm is collapsed, and introduce institutions with a variety of characteristics – exogenous or endogenous, strong or weak, comprehensive or limited – and observe its capacity of transforming the population's attributes. The results found indicate that endogenous institutional arrangements are more effective in the long run and, in most cases, that the possibility of social control is sufficient to the establishment of a norm. They also show that average and large communities show a more stable norm and that small communities are capable of fast establishing a norm but its

stability is dependent on the existence of social control. Finally, they indicate that neutrality (or indifference) to institutional values are an obstacle to norm establishment.

**Keywords:** Axelrod's Metanorms Game, Institutional Analysis and Development Framework, Emergence of Cooperation.

**JEL Classification:** C71, C73, D02, Z13



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Matriz de <i>payoffs</i> do Dilema do Prisioneiro .....	17
Tabela 2. Balanceamento de tríades .....	55
Tabela 3. Perfis institucionais.....	87
Tabela 4. Matriz de satisfação de uma relação social.....	88
Tabela 5. Resumo das variáveis do modelo, agrupadas por entidade .....	94
Tabela 6. Valores iniciais dos parâmetros .....	96
Tabela 7. Características das redes sociais geradas .....	100
Tabela 8. Exemplo de tabela de resultados.....	105
Tabela 9. Estatísticas das Simulações – 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 20%.....	128
Tabela 10. Estatísticas das Simulações – 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 50%.....	130
Tabela 11. Estatísticas das Simulações – 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 80%.....	132
Tabela 12. Estatísticas das Simulações – 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 20%.....	134
Tabela 13. Estatísticas das Simulações – 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 50%.....	137
Tabela 14. Estatísticas das Simulações – 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 80%.....	140
Tabela 15. Estatísticas das Simulações – 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidades Populacionais 20%, 50% e 80%.....	143
Tabela 16. Estatísticas das Simulações – 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidades Populacionais 20%, 50% e 80%.....	147

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elementos do framework de análise institucional.....	36
Figura 2. Regras como variáveis exógenas afetando diretamente os elementos de uma “situação de ação” . .....	37
Figura 3. Relação entre informação, ação-resultado e modelos mentais.....	38
Figura 4. Modelo de Watts-Strogatz.....	52
Figura 5. Grafo livre de escala.....	54
Figura 6. Diagrama de atividades de um round do “Jogo de Normas” de Axelrod .....	58
Figura 7. Diagrama de atividades do método metaNorms(S,i,j) .....	60
Figura 8. Elementos constituintes do modelo no framework IAD .....	65
Figura 9. Vizinhanças de Von Neumann e de Moore .....	67
Figura 10. Esquema do modelo do “Jogo de Metanormas” de Axelrod .....	70
Figura 11. Grafo direcionado desenhado a partir da matriz de adjacência dada pela matriz de observações.....	73
Figura 12. Possíveis movimentos do agente cooperador C na presença de um (a e b) ou dois (c e d) agentes desertores nas vizinhanças de Von Neumann (a e c) e de Moore (b e d) .....	78
Figura 13. Probabilidades de imitação e rejeição dadas pela função sigmoide.....	82
Figura 14. Espaço cultural representado pelos atributos dos agentes.....	83
Figura 15. Cooperadores e desertores interagem através das arestas de um grafo.....	90
Figura 16. Fechamento de tríades.....	92
Figura 17. Ilustração da execução do modelo proposto em NetLogo .....	100
Figura 18. Exemplo de Gráfico de Superfície .....	102
Figura 19. Exemplo de Gráfico de Atributos e seu correspondente Gráfico de Norma Simples .....	103
Figura 20. Exemplo de um Gráfico de Norma Média .....	103
Figura 21. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida, indefinida ou colapsada para densidade populacional de 20% em rodadas de 10 simulações de 1.000 gerações .....	107

Figura 22. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida, indefinida ou colapsada para densidade populacional de 50% em rodadas de 10 simulações de 1.000 gerações .....	108
Figura 23. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida, indefinida ou colapsada para densidade populacional de 80% em rodadas de 10 simulações de 1.000 gerações .....	109
Figura 24. Gráficos de Superfície para a proporção média de ticks em que a norma se encontrava estabelecida .....	110
Figura 25. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida, indefinida ou colapsada para 72 combinações selecionadas em rodadas de 10 simulações de 10.000 gerações .....	112
Figura 26. Gráficos de Superfície para a proporção média de ticks em que a norma se encontrava estabelecida .....	113
Figura 27. Gráficos de Superfície para a proporção média de ticks em que a norma foi estabelecida pela primeira vez.....	114
Figura 28. Gráficos de Superfície para percentual de tempo no qual a norma permaneceu estabelecida, uma vez que tenha sido estabelecida pela primeira vez.....	115
Figura 29. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 20%.....	129
Figura 30. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 50%.....	131
Figura 31. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 80%.....	133
Figura 32. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 20%.....	135
Figura 33. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 1.000 gerações, Densidade Populacional 20% .....	136
Figura 34. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 50%.....	138
Figura 35. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 1.000 gerações, Densidade Populacional 50% .....	139
Figura 36. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 80%.....	141

Figura 37. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 1.000 gerações, Densidade Populacional 80% .....	142
Figura 38. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 20% .....	144
Figura 39. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 50% .....	145
Figura 40. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 80% .....	146
Figura 41. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 20% .....	148
Figura 42. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 10.000 gerações, Densidade Populacional 20% .....	149
Figura 43. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 50% .....	150
Figura 44. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 10.000 gerações, Densidade Populacional 50% .....	151
Figura 45. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 80% .....	152
Figura 46. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 10.000 gerações, Densidade Populacional 80% .....	153

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1 DILEMAS SOCIAIS.....	16
2.2 EVOLUÇÃO, CULTURA E INSTITUIÇÕES .....	28
2.3 SISTEMAS COMPLEXOS .....	39
2.4 ECONOMIA FORA DO EQUILÍBRIO .....	40
2.5 SIMULAÇÃO SOCIAL BASEADA EM AGENTES .....	43
2.6 REDES COMPLEXAS .....	46
2.7 O MODELO DE METANORMAS DE AXELROD.....	56
3. O MODELO PROPOSTO .....	64
3.1 AGENTES.....	66
3.2 ESPAÇO GEOGRÁFICO.....	66
3.3 O MODELO DE METANORMAS MODIFICADO .....	68
3.4 RECURSO DE USO COMUM .....	75
3.5 ESPAÇO CULTURAL .....	78
3.6 ESPAÇO SOCIAL .....	88
3.7 DINÂMICA DO MODELO.....	92
3.8 VARIÁVEIS E PARÂMETROS .....	94
3.9 PROCEDIMENTOS .....	97
3.10IMPLEMENTAÇÃO .....	99
3.11RESULTADOS.....	105
3.12CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	116
4. CONCLUSÕES.....	117
5. REFERÊNCIAS .....	121
APÊNDICES .....	128

## 1. INTRODUÇÃO

O tema de jogos cooperativos tem sido objeto de estudo de uma ampla gama de autores, nos mais diferentes campos – economia, sociologia, psicologia, biologia, dentre outros. Particularmente, o dilema social imposto pelos recursos de uso comum, no que se convencionou chamar de “tragédia dos comuns”, tem recebido atenção de importantes autores, dentre os quais destacamos (Ostrom, 1990, 2000, 2005, Ostrom et al 2004). A emergência da cooperação entre os agentes em problemas desse tipo ainda não é bem compreendida e, nos últimos anos, utilizou-se do expediente de simulações com modelos baseados em agentes na tentativa de captar novos aspectos desse problema. Dentro desse paradigma, encontram-se os trabalhos pioneiros de Axelrod (1986) e Epstein e Axtell (1996). Inicialmente, aqueles modelos consideravam apenas redes quadradas e regulares<sup>1</sup> para interação entre os agentes. Porém, com o início das pesquisas baseadas em redes sociais, descobriram-se características específicas que tais redes possuem (Albert e Barabási, 2002). Dessa forma, os estudos mais recentes procuram combinar esses diferentes aspectos de forma a criar modelos mais próximos da realidade, enquanto buscam determinar as condições sob as quais há a emergência da cooperação em situações de interação social típica ou de mercado.

Esse trabalho se propõe a analisar o papel da instituição na emergência da cooperação e o estabelecimento ou não de uma norma social em uma população de agentes desertores no contexto de um dilema social imposto por um jogo de recurso comum (rival e não-exclusivo), através de uma simulação computacional de um modelo baseado em agentes<sup>2</sup>. Baseado nos princípios do modelo de metanormas elaborado por Axelrod em 1986, em seu artigo seminal, “*Evolutionary Approach to Norms*”, os agentes podem ser cooperadores, desertores ou punidores. Entretanto, ao invés de presumir interações entre todos os agentes a cada turno, o modelo irá prever a superposição de duas redes, uma geográfica, na qual o comportamento dos agentes vizinhos em relação ao bem de uso comum pode ser observado e eventualmente punido, e outra, social, onde os agentes

---

<sup>1</sup> Uma rede quadrada pode ser entendida como um espaço euclidiano bidimensional onde ambas as dimensões possuem tamanhos idênticos. Uma rede regular é aquela na qual cada célula está conectada a exatamente a  $N$  outras células.

<sup>2</sup> A modelagem baseada em agentes visa, através de modelos computacionais, simular as ações e interações entre agentes autônomos a fim de estabelecer o efeito agregado das mesmas sobre o sistema como um todo. Vide Seção 2.5.

interagem através de um comportamento de aprendizado e de disseminação cultural. Ao considerar um amplo escopo, incluindo em sua dinâmica os atributos do mundo físico, os atributos da comunidade e as regras de comportamento em uma situação interativa, o modelo não apenas se insere no *framework* de análise e desenvolvimento institucional (IAD) proposto por Ostrom (2005, 2007), como o estende ao endogeneizar essas variáveis.

Assim, o objetivo principal desse trabalho é analisar a influência institucional na dinâmica do comportamento cooperativo dos agentes e o estabelecimento ou não de uma norma social em um jogo de recurso comum, dada uma população inicial de agentes desertores. O objetivo secundário é a análise de sensibilidade dos parâmetros envolvidos na definição do modelo. Consideramos como hipótese de trabalho que a influência institucional é fator decisivo para a emergência da cooperação no contexto proposto.

A metodologia a ser utilizada é a da simulação computacional a partir de uma modelagem baseada em agentes. Serão definidas regras objetivas de comportamento para os agentes que, por sua vez, irão interagir repetidamente entre si e com o meio ambiente. Ao final de cada rodada de simulação, serão computadas as características do comportamento emergente na população de agentes. E, ao final de  $N$  rodadas de simulação, serão computadas as estatísticas descritivas das características observadas.

No Capítulo II apresentaremos uma revisão da literatura englobando os conceitos de dilemas sociais, análise institucional, sistemas complexos, economia “fora-do-equilíbrio”, simulação social baseada em agentes e redes complexas. Além disso, apresentaremos também o modelo de metanormas original de Axelrod e seus refinamentos posteriores, bem como alguns modelos complementares cujos conceitos também serão úteis no desenvolvimento de nosso modelo. No Capítulo III apresentaremos o nosso modelo, em seus diferentes espaços – cultural, geográfico, social e de recurso de uso comum – bem como os detalhes de sua implementação, seus parâmetros da simulação e os resultados encontrados.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 DILEMAS SOCIAIS

As condições necessárias para o surgimento de cooperação nos mais diversos tipos de dilemas sociais têm sido objeto de inúmeros estudos nas mais diferentes áreas do conhecimento nas últimas décadas. Desde a economia até a biologia, a sociologia e a psicologia, e passando pela física e pela computação, os dilemas sociais se apresentam como um objeto de estudo interdisciplinar que vêm desafiando os pesquisadores.

Segundo Dawes (1980), um dilema social é caracterizado por duas propriedades:

- a) a recompensa por um comportamento desertor é superior à recompensa de um comportamento cooperativo a despeito das ações dos demais membros da sociedade;
- b) todos indivíduos na sociedade recebem uma recompensa menor se todos desertarem do que se todos cooperarem.

Conforme Kollock (1998), os dilemas sociais são conceituados como situações nas quais a racionalidade individual leva a irracionalidade coletiva. Dessa forma, os dilemas sociais são caracterizados pela existência de um equilíbrio deficiente, isto é, existe ao menos um resultado alternativo no qual todos se encontram em melhor situação. Particularmente perversos são aqueles dilemas cujo equilíbrio deficiente é alcançado via uma estratégia dominante, ou seja, aquela na qual o indivíduo alcança seu melhor resultado independentemente das ações dos demais. Nesses casos, se todos seguirem a decisão “racional” individual, sairão prejudicados. Ainda, conforme Kollock (1998, p.184-5), “um grupo de pessoas enfrentando um dilema social pode entender completamente a situação, pode compreender como cada uma de suas ações contribui para o resultado desastroso, e ainda assim ser incapaz de fazer algo a respeito disso”

A psicologia humana está na raiz desses comportamentos. Dawes (1980, p.189-90), por exemplo, aponta as razões pelas quais os indivíduos têm dificuldades na avaliação e na superação de um dilema social:

“... as pessoas possuem habilidades muito limitadas para processar informações em nível consciente, especialmente informações sociais... estudos mostraram uma surpreendente inabilidade de processar informação corretamente no que parecem ser as tarefas mais simples... Tal limitação cognitiva pode frequentemente resultar em uma



inabilidade de entender ou compreender completamente as utilidades em uma situação de dilema social que não seja das mais óbvias, isto é, aquelas conectadas aos *payoffs*. Mas são precisamente as utilidades dos *payoffs* que levam os agentes a desertar, enquanto outras utilidades como, por exemplo, aquelas conectadas ao altruísmo, normas e consciência, levam os agentes a cooperar. Daí decorre que manipulações que aumentam a saliência e o entendimento das utilidades dos *payoffs* devem aumentar a cooperação. Comunicação (com ou sem compromisso), divulgação pública e moralização são precisamente tais manipulações.”

A literatura sobre os dilemas sociais se concentra em três metáforas principais – o Dilema do Prisioneiro, o provisionamento de Bens Públicos e a Tragédia dos Comuns (Kollock, 1998)

Em Teoria dos Jogos, o Dilema do Prisioneiro é um paradigma para a cooperação. Originalmente concebida por Merrill Flood e Melvin Dresher em 1950, a alegoria do Dilema do Prisioneiro foi formalizada e batizada por Albert Tucker. A história por trás do dilema é a de dois criminosos capturados pela polícia e trancados em salas distintas, sem comunicação, para interrogatório. A cada um deles é oferecida a oportunidade de confessar primeiro seu crime, entregando o cúmplice, e sendo libertado imediatamente (zero anos), fazendo com que o outro cumpra a pior pena possível nessa situação (três anos). Caso ambos confessem, ambos cumprem a pena regular (dois anos). Porém, caso nenhum dos dois confesse, ambos cumprem a menor das penas possíveis (um ano), uma vez que a acusação torna-se mais frágil sem a evidência da confissão.

Na forma em que o problema é estruturado, o dilema se apresenta pelo fato que ambos criminosos possuem incentivo para trair seu cúmplice, confessando e, portanto, cumprindo dois anos de pena; ainda que ambos pudessem estar em melhor situação se permanecessem em silêncio, cumprindo apenas um ano de pena. Logo, a estratégia dominante é sempre confessar, e o equilíbrio alcançado não é ótimo de Pareto.

Formalmente, o Dilema do Prisioneiro pode ser modelado como uma matriz de *payoffs* onde as estratégias do Jogador I estão representadas nas linhas e as do Jogador II estão representadas nas colunas:

**Tabela 1. Matriz de *payoffs* do Dilema do Prisioneiro**

		Jogador II	
		Não Confessar	Confessar
Jogador I	Não Confessar	R,R	S,T
	Confessar	T,S	P,P

E onde,  $T > R > P > S$ . Adicionalmente, para o caso do Dilema do Prisioneiro jogado de forma repetida, é necessário que  $R > (T + S) / 2$ , de forma que não seja vantajoso jogar alternadamente não confessar e confessar.

Enquanto o Dilema do Prisioneiro tradicional envolve apenas dois atores, ao estendermos o jogo para múltiplos atores caracterizamos aquilo que a literatura define como um jogo de Bem Público.

Um bem público pode ser definido como um bem qualquer que possui duas características simultâneas: a não-rivalidade, onde o consumo de um bem por um agente não diminui a possibilidade de consumo por outro agente; e a não-exclusividade, onde a restrição ao acesso ao bem é impossível ou muito difícil.

Assim como no Dilema do Prisioneiro, no jogo de Bem Público, os jogadores podem escolher entre cooperar e desertar. Enquanto no primeiro dilema cooperar significava não confessar e desertar significava confessar; no jogo de Bem Público cooperar significa contribuir para o provisionamento do bem público e desertar significa adotar um comportamento *free-rider*, isto é, usufruir o bem público sem efetuar qualquer contribuição.

O total das contribuições dos jogadores então é multiplicado por um fator  $r > 1$  e dividido entre os  $N$  jogadores, tenham contribuído ou não. Assim como no Dilema do Prisioneiro, a estrutura do problema representa um incentivo ao comportamento *free-rider*, considerando que o jogador irá receber um benefício em função das contribuições dos demais. No equilíbrio, portanto, nenhum dos jogadores contribui para o provisionamento do bem público e, conseqüentemente, não auferem nenhum benefício. É fácil perceber que todos estariam em melhor situação se todos contribuíssem, onde receberiam um benefício  $r$  vezes maior que sua contribuição inicial.

Outro dilema social envolvendo múltiplos atores é a Tragédia dos Comuns, que difere do jogo de Bem Público pelo fato de se tratar da exploração de um bem de uso comum, ao invés de seu provisionamento. A alegoria foi introduzida em 1968 por Garrett Hardin, em sua obra "*The Tragedy of the Commons*", onde o autor explicita o problema enfrentado pelos criadores de rebanhos que utilizam um pasto comunal. Nas próprias palavras de Hardin (1968, p. 1244):

“Como um ser racional, cada criador procura maximizar seus ganhos. Explícita ou implicitamente, mais ou menos conscientemente, ele se pergunta: ‘Qual a utilidade *para mim* de adicionar mais um animal ao meu rebanho?’. Essa utilidade tem um componente negativo e outro positivo.

1. O componente positivo é função do incremento de um animal. Uma vez que o criador recebe todo lucro proveniente da venda de um animal adicional, a utilidade positiva é quase +1.
2. O componente negativo é função da degradação da pastagem criada pela adição de um animal. Entretanto, uma vez que os efeitos da degradação são compartilhados por todos criadores, a utilidade negativa de uma dada decisão de um criador é apenas uma fração de -1.

Somando as utilidades parciais, o criador racional conclui que o único curso de ação razoável é adicionar um animal ao seu rebanho. E mais um, e mais um... Mas todos os criadores racionais que compartilham o pasto comunal chegam à mesma conclusão. Daí a tragédia. Cada homem é, por efeito do sistema, compelido a aumentar seu rebanho infinitamente – em um mundo que é limitado. A ruína é o destino para o qual todos os homens se dirigem, cada um perseguindo seu melhor interesse em uma sociedade que acredita na liberdade dos recursos comuns.”

O conceito econômico por trás do dilema apresentado por Hardin é o de externalidade (Buchanan, 1971, p.7): “podemos definir que uma externalidade ocorre quando o comportamento de um indivíduo afeta a situação de outros indivíduos sem o consentimento explícito dos últimos.”.

Já o conceito de “armadilha social” é tal que “o comportamento que resulta numa recompensa imediata leva a uma punição no longo prazo” (Platt, 1973 *apud* Dawes, 1980, p. 173). Embora nem todos os dilemas sociais sejam armadilhas sociais, a “tragédia dos comuns” certamente se encaixa nesse conceito.

Os dilemas desse tipo são caracterizados pela não-exclusividade do recurso, isto é, pelo fato da restrição ao seu acesso ser de difícil implementação; e pela rivalidade, isto é, pelo fato de o recurso utilizado por um indivíduo deixar de estar disponível para os demais. Outra importante questão reside na taxa de reprodução do recurso comum e na sua capacidade de carregamento

A “tragédia dos comuns” foi extensamente investigada por (Ostrom, 1990, 2000, 2005, Ostrom et al, 1994). Dentre suas constatações em experimentos de campo, uma das mais relevantes é a de que o mundo contém múltiplos tipos de indivíduos, alguns mais propensos à reciprocidade que outros para alcançar os benefícios da ação coletiva.

A questão central, segundo a autora, consiste em determinar como cooperadores em potencial sinalizam uns aos outros e projetam instituições que reforçam a cooperação condicional, ao invés de destruí-la. A partir de estudos empíricos, encontraram-se

diferentes tipos de agentes, no que tange ao seu comportamento: i) os “egoístas racionais”, agentes representativos da teoria econômica neoclássica e ii) os “usuários de normas”, subdivididos entre os “cooperadores condicionais”, responsável pelos altos níveis iniciais de cooperação comumente observados em um jogo repetido e; os “dispostos a punir”, que desencoraja o comportamento oportunista (*free-rider*), criando um início mais robusto para a ação coletiva.

A evolução de normas sociais no contexto de recursos de uso comum também foi abordada por Sethi e Somanathan,(1996). Em seu modelo, os autores utilizaram a exploração descentralizada dos recursos e sanções com custo. Os resultados encontrados por eles sustentam uma explicação teórica para as evidências de campo e laboratório que descrevem comportamentos frequentes de cooperação e sanção em pequenos grupos. Contudo, o modelo apresenta limitações ao não permitir mudanças institucionais. Segundo os autores, quando as sanções descentralizadas tornam-se ineficazes e a viabilidade de um recurso vital é ameaçada, podem surgir formas mais explícitas de aplicação das normas – leis, policiamento e punições institucionalizadas – em resposta à essa ameaça. Entretanto, tais situações encontravam-se fora do escopo do estudo e constituíam objeto de pesquisas futuras.

Noailly et al (2007) apresentaram um modelo mais avançado que o de Sethi e Somanathan (1996), ao incorporar a dimensão espacial na evolução das normas sociais em um jogo de recurso comum. Os agentes eram dispostos em um toro bidimensional e suas estratégias podiam ser de três tipos distintos: deserção, cooperação, punição (*enforcement* no termo original). Esses últimos puniam todos os desertores situados em sua vizinhança. Além disso, na dinâmica do modelo proposto os retornos individuais eram afetados por fatores globais, como o agregado da extração do recurso e o nível do estoque do mesmo; e também por fatores locais, como a sanção entre vizinhos. Tais resultados dependiam da distribuição das estratégias na população e a evolução dessas era norteadas pelo aprendizado social por imitação. Um dos resultados importantes encontrados pelos autores é o fato que *clusters* de cooperadores e aplicadores da lei podem sobreviver em meio a grandes grupos de desertores.

Já Bravo (2011) incorporou a possibilidade de mudanças institucionais em um modelo baseado em agentes para recursos de uso comum. O autor sustenta que os indivíduos reais não são impotentes e não estão presos no dilema (social), sendo capazes

de gerenciar de forma sustentável seus recursos através da construção de instituições endógenas. Assim, o modelo apresentado simulava o gerenciamento de um recurso de uso comum focando na relação entre as crenças dos agentes e as instituições. Dentre os resultados, o autor encontrou que, em todas as condições onde foi permitido aos agentes construir uma instituição gerenciadora, foram alcançados melhores resultados que aqueles do cenário-base, onde os agentes podiam confiar apenas em suas crenças individuais a fim de limitar sua extração do recurso. Por outro lado, o modelo proposto possuía limitações, uma vez que os agentes mudavam suas crenças individualmente, sem considerar as ações ou crenças dos outros agentes. Logo, não existia influência social no modelo. Outra importante limitação é dada pelo fato que os agentes sempre agiam em conformidade com as regras institucionais, não havendo lugar para desonestidade.

Em relação ao número de atores, os dilemas sociais podem ser divididos entre aqueles que envolvem apenas dois atores (*two-person dilemmas*) e aqueles que envolvem múltiplos atores (*N-person dilemmas*). Dentre esses últimos, Kollock (1998) os subdivide em dois tipos, conforme o custo e benefício para cada indivíduo:

- Obstáculo social (*social fence*): os indivíduos se defrontam com um custo imediato que produz um benefício coletivo. Existe um incentivo a não incorrer nesse custo, porém, se todos assim o fizerem, estarão em pior situação como um todo;
- Armadilha social (*social trap*): os indivíduos são tentados por um benefício imediato que gera um custo coletivo. Se todos sucumbirem à tentação, o resultado é um desastre coletivo.

Enquanto o provisionamento de bens públicos é um dilema social do primeiro tipo, a tragédia dos comuns se encaixa no segundo tipo.

Ainda quanto aos dilemas sociais que envolvem múltiplos atores, Dawes (1980) elenca algumas importantes diferenças da maioria dos dilemas sociais em relação ao clássico dilema do prisioneiro envolvendo apenas dois atores:

- O dano causado pelo comportamento desertor é difundido por um grande número de indivíduos;

- O comportamento desertor pode ser anônimo, não necessariamente, mas existe a possibilidade e;
- Não é possível tentar determinar o comportamento alheio, e o respectivo resultado, pela escolha criteriosa do próprio comportamento.

Já as soluções para os dilemas sociais são divididas em três grandes categorias, de acordo com Kollock (1998):

- Motivacionais: assumem indivíduos não totalmente egoístas e que, portanto, atribuem algum peso aos resultados de seus pares; não consideram a possibilidade de alterações estruturais;
- Estratégicas: assumem indivíduos egoístas e, assim como as motivacionais, também não consideram alterações estruturais; e
- Estruturais: consideram a possibilidade de alteração das regras do jogo, sejam os indivíduos egoístas ou não.

Dentre as soluções motivacionais, Kollock (1998) destaca a orientação a valores sociais, a comunicação e a identidade de grupo.

A abordagem dos valores sociais busca determinar se existem diferenças individuais nas preferências por dadas distribuições de resultados para si mesmo e para os outros (Van Lange et al, 1992 *apud* Kollock 1998). Dentre diversas possibilidades, um indivíduo pode se comportar de modo a maximizar o resultado do conjunto de indivíduos (cooperação); a diferença relativa entre o seu resultado e o de seu par (competição); o resultado de seu par sem preocupação com o próprio resultado (altruísmo); e seu próprio resultado sem preocupação com o de seu par (individualismo). Pesquisas indicam que a maioria dos indivíduos pode ser classificada como cooperadores, competidores ou individualistas. Indivíduos com diferentes valores sociais se comportam de maneiras distintas quando confrontados com o mesmo jogo, transformando-o e jogando-o como se fosse outro jogo, conforme seus traços de personalidade.

Uma abordagem alternativa consiste em buscar determinar quais características da situação ou do ambiente (ao invés da personalidade do indivíduo) afetam o peso que os indivíduos atribuem aos resultados alheios. Nesse contexto, os efeitos positivos da comunicação sobre as taxas de cooperação são um resultado recorrente na literatura.

Dentre as causas desses efeitos, Messick e Brewer (1983) *apud* Kollock (1998) elencam a possibilidade de coletar informações sobre as escolhas prováveis dos demais; a chance de realizar promessas sobre suas ações futuras e; a oportunidade de persuasão moral, isto é, apontar o ‘certo’ ou ‘correto’ a fazer. Além disso, a comunicação pode criar ou reforçar um senso de identidade de grupo.

O impacto da identidade de grupo é diverso e profundo, com efeitos sobre todas as categorias de soluções, podendo produzir efeitos sobre as taxas de cooperação entre os indivíduos mesmo na ausência de comunicação. Kramer e Brewer (1984, 1986) *apud* Kollock (1998) demonstraram que os indivíduos são mais dispostos a se conter num dilema do tipo ‘tragédia dos comuns’ apenas pelo fato de se identificarem como membros de um grupo. Também Hammond e Axelrod (2006) demonstram que o etnocentrismo, isto é, a existência de comportamentos e atitudes de favorecimento a membros do grupo, pode promover a cooperação entre indivíduos do mesmo grupo até em jogos do tipo Dilema do Prisioneiro sem repetição.

Já dentre as soluções estratégicas, são elencadas por Kollock (1998) a reciprocidade, a escolha dos pares, jogador implacável (*grim triggers*), o aprendizado social e a reciprocidade de grupo.

O mais influente estudo na área de soluções estratégicas para dilemas sociais é o de Axelrod (1984), onde o autor apresenta os resultados de uma série de torneios eletrônicos baseados no Dilema do Prisioneiro com dois atores. Axelrod identificou três requisitos necessários para que exista a possibilidade de emergência de cooperação. Primeiro, os indivíduos devem estar envolvidos em uma relação que perdure; segundo, os indivíduos devem poder identificar uns aos outros e; terceiro, os indivíduos devem possuir informação sobre como os demais se comportaram no passado. Dentre as estratégias participantes, a vencedora chamava-se “*Tit-for-Tat*”, isto é, cooperava no primeiro *round*, e daí por diante copiava a ação do oponente no *round* anterior. Entretanto, uma das condições mais importantes assumidas por Axelrod em suas simulações foi a de informação perfeita, distinta do mundo real, onde erros, percepções erradas e acidentes acontecem.

Outra importante condição assumida por Axelrod (1984) em seu modelo foi a estrutura de rede na qual os indivíduos interagem, onde cada um era forçado a interagir com todos os demais a cada *round*. Abster-se de jogar ou escolher apenas alguns pares para

jogar não eram opções possíveis. Entretanto, autores como Hayashi (1993) *apud* Kollock (1998) descobriram que uma estratégia bem sucedida em situações como a proposta por Axelrod consiste em cooperar na primeira interação e permanecer cooperando até a primeira deserção do respectivo par, quando a relação com esse último seria interrompida. A conclusão desses trabalhos é a de que a estratégia usada na seleção dos pares pode ser mais importante que a própria estratégia utilizada no jogo. Recentemente, Santos et al (2006) demonstraram que a evolução conjunta das estratégias individuais e da estrutura de rede, através da seleção de pares, é um mecanismo chave para a sustentabilidade da cooperação em redes sociais. Também Aktipis (2011) demonstrou que a escolha de pares no ambiente físico, onde indivíduos “se afastam” em resposta a condições sociais locais desfavoráveis, pode favorecer a evolução da cooperação. Segundo o estudo, agentes cooperadores possuem vantagem evolutiva quando a tolerância ao comportamento desertor é baixa; indo de altas taxas de movimentação e muitos e efêmeros agrupamentos, para baixas taxas de movimentação e grandes e estáveis grupos de cooperadores.

Já na estratégia do ‘jogador implacável’<sup>3</sup> (*grim trigger*), os indivíduos cooperam apenas se todos os demais também cooperarem. Nesse caso, a escolha de um indivíduo é decisiva e o comportamento oportunista (*free-rider*) é impossível. Entretanto, estudos de campos de Ostrom et al (1994) não identificaram nenhum grupo utilizando essa estratégia.

Uma abordagem alternativa foi investigada por Macy (1991), onde o processo decisório dos indivíduos não assume o cálculo de taxas marginais de retorno ou a existência de estratégias dominantes. Ao invés disso, o autor assume indivíduos que buscam recompensas e evitam penalidades e investiga sob quais condições os mesmos conseguem contornar os dilemas sociais através de simulações computacionais. Dentre os achados, encontram-se a presença de limites críticos e a tendência dos indivíduos de imitar os outros ao seu redor.

Também Axelrod (1997), em seu modelo de disseminação da cultura, estabelece que, dado que os agentes interagem mais frequentemente com aqueles agentes que possuem traços culturais semelhantes aos seus e, que quanto mais interagem entre si, mais semelhantes se tornam; existe um mecanismo de convergência social que pode levar a uma

---

<sup>3</sup> A estratégia do ‘jogador implacável’ é tal que, em um jogo repetido, o jogador irá cooperar até o momento em que outro jogador deserte, a partir do qual o primeiro também irá desertar até o término do jogo.



grande região monocultural ou a polarização global, isto é, a existência de múltiplas regiões com diferentes culturas.

A conformidade, isto é, a tendência humana de imitar o comportamento local comum, é considerada por Peña et al (2009) como possível obstáculo ao estabelecimento da cooperação em jogos de Dilema do Prisioneiro em redes livres de escala.

Já Gino et al (2009) indicam a identidade de grupo como motivador de comportamentos imitativos. Em experimentos conduzidos em uma universidade, os participantes tendiam a ser mais desonestos quando observavam outro membro de seu grupo se beneficiando de um comportamento desonesto; ao passo que o mesmo não acontecia quando o comportamento observado pertencia a um membro de um grupo distinto.

Os efeitos da identidade grupo, segundo Karp et al (1993) *apud* Kollock (1998), advêm de uma crença nas interdependências dos membros do grupo e nas expectativas de reciprocidade entre os mesmos. Eles argumentam que a crença na reciprocidade futura contém a tentação de desertar e, portanto, encoraja a cooperação.

Finalmente, as soluções estruturais são categorizadas por Kollock (1998) entre interação e identificação, estrutura de retornos, eficácia, tamanho do grupo, limites e sanções.

Uma possível abordagem estrutural consiste em criar ou reforçar características do ambiente que são requisitos para as soluções estratégicas, como aquelas identificadas por Axelrod (1984) e já previamente elencadas.

Diversos estudos, como Bonacich et al (1976) *apud* Kollock (1998), demonstram que, quanto maior o retorno pessoal derivado da cooperação e menor aquele derivado da deserção, maiores se tornam os níveis de cooperação. Além disso, também demonstram que esses níveis aumentam significativamente conforme a cooperação de um indivíduo aumenta os benefícios dos demais, indicando que os indivíduos avaliam positivamente os resultados alheios.

Muitos pesquisadores argumentam que os indivíduos não cooperam em um dilema social envolvendo múltiplos atores pelo fato de as ações de um único indivíduo não possuírem um impacto discernível sobre a situação. Se o dilema social for estruturado de

tal forma que os indivíduos possam perceber o impacto de suas ações, a cooperação irá aumentar. Uma alternativa seria a existência de um bem público com uma função de produção ‘em níveis’. Quando o indivíduo acreditasse que o grupo está próximo do limite crítico de transição, sua contribuição poderia ser suficiente para levar o grupo para o próximo nível do bem público. Segundo Kerr (1989) *apud* Kollock (1998), essa percepção de eficácia pode ser suficiente para afetar positivamente os níveis de cooperação.

Outros estudos, como Bonacich et al (1976) *apud* Kollock (1998), indicam que o nível de cooperação declina conforme aumenta o tamanho do grupo. Retomando Dawes (1980), em um dilema social envolvendo múltiplos atores, o anonimato da deserção é facilitado e torna-se mais difícil determinar o comportamento alheio a partir das próprias ações. Além disso, os custos de organização aumentam com o tamanho do grupo (Olson, 1965), a eficácia e a visibilidade das ações individuais é diminuída e o monitoramento e sanção dos indivíduos se tornam cada vez mais desafiadores. Por outro lado, Marwell e Oliver (1993) *apud* Kollock (1998) apontam que grandes grupos possuem maiores probabilidades de resolver dilemas sociais, uma vez que podem conter uma massa crítica de indivíduos interessados em prover um bem público, dada a heterogeneidade do grupo em termos de interesses e recursos.

Uma das questões centrais dos dilemas sociais, em especial da ‘tragédia dos comuns’, é a não-exclusividade de um bem comum. Para esses casos, existem soluções que permitem definir algum tipo de limite de acesso ao bem coletivo. Uma das soluções propostas é o estabelecimento de uma autoridade externa reguladora do acesso ou da exploração do bem coletivo, como a solução clássica do Leviatã de Hobbes, assim como proposto por Hardin (1968). Entretanto, Crowe (1969) *apud* Kollock (1998), critica essa solução, ao afirmar que a mesma assume que a comunidade consegue chegar um acordo sobre os valores e prioridades; que as autoridades possuem poder suficiente para compelir os indivíduos a obedecer e; que as autoridades são confiáveis, incorruptíveis e resistentes à influência de grupos de interesse.

Outra solução proposta consiste na privatização do recurso comunal, isto é, dividindo o mesmo em lotes e distribuindo-os aos indivíduos que, presumidamente, cuidarão melhor de suas propriedades do que de uma propriedade comunal. Entretanto, essa solução esbarra em algumas dificuldades. Primeiro, nem todos os bens comunais são divisíveis, como por exemplo, cardumes no oceano. Segundo, algumas questões de justiça

social são levantadas: como e para quem alocar os lotes? Terceiro, se observa empiricamente que os indivíduos rotineiramente destroem suas propriedades privadas.

Além disso, frequentemente propriedades comunais são objeto de regras e policiamento locais referentes ao seu acesso. Em experimentos de campo, Ostrom et al (1994) descobriram que grupos de indivíduos encontram maneiras de regular suas próprias ações e alguns desses arranjos se mostram incrivelmente robustos. Assim, Ostrom (1990) propõe uma terceira alternativa, isto é, a regulação local do acesso e uso do recurso comunal por aqueles que efetivamente fazem uso do mesmo.

Conforme Dawes (1980), em um dilema social envolvendo múltiplos atores, não é possível influenciar o resultado alheio através das próprias ações e, portanto, também não é possível influenciar o comportamento alheio. Se cooperadores fossem recompensados e os desertores punidos, os dilemas sociais poderiam ser solucionados. Olson (1965) aponta para a necessidade de incentivos seletivos, isto é, recompensas, para encorajar o comportamento cooperativo. Paralelamente, Komorita (1987) *apud* Kollock (1998) apresenta experimentais que indicam uma maior tendência à cooperação se os indivíduos puderem punir os desertores.

A implementação de um sistema de sanções, contudo, levanta algumas questões. Conforme Hechter (1984) *apud* Kollock (1998), existem custos significativos para a adoção de tal sistema, uma vez que se torna necessário monitorar o comportamento dos indivíduos. Além disso, existem custos administrativos do sistema em si, como as próprias recompensas ou o custeio de instituições que executem as punições (por exemplo, uma força policial). Tais custos podem, eventualmente, exceder os benefícios decorrentes do maior nível de cooperação obtido através do sistema.

Por outro lado, Ostrom (1990) mostra que sistemas de monitoramento e sanção operados pelas próprias comunidades, ao invés de uma autoridade externa, são uma das características presentes nas comunidades bem-sucedidas. Além disso, a autora observou que tais comunidades costumam usar um sistema gradual de sanções, uma vez que os membros das comunidades haviam percebido que até mesmo indivíduos bem-intencionados eventualmente violam as regras em casos extremos. Outro problema decorre do fato que os próprios sistemas de monitoramento e sanção são bens públicos dos quais os indivíduos podem se beneficiar sem contribuir, isto é, são bens públicos de segunda ordem.

Embora se pudesse esperar que indivíduos que cooperam para o provisionamento de um bem público também o fizessem para um bem público de segunda ordem, Yamagishi (1992) *apud* Kollock (1998) demonstrou que isso nem sempre acontece, e que o contrário também ocorre, ou seja, indivíduos que não contribuem para o bem público estão dispostos a contribuir para a manutenção de um sistema de monitoramento e sanção.

## 2.2 EVOLUÇÃO, CULTURA E INSTITUIÇÕES

Nos últimos anos, antropólogos, biólogos e economistas, dentre outros, têm adaptado modelos biológicos para o estudo de populações humanas onde os traços podem ser transmitidos via aprendizado, além de geneticamente. Ao considerar capacidades humanas nos modelos biológicos – a habilidade em aprender com as próprias experiências e uns com os outros, e de modificar as estratégias a partir das informações obtidas – foram desenvolvidos modelos de evolução cultural (Bowles, 2004).

Assim, o autor considera os indivíduos como portadores de regras comportamentais. A análise, então, é voltada para o sucesso ou fracasso dessas regras comportamentais, enquanto elas se difundem e permeiam a população ou fracassam e são eliminadas ou confinadas a pequenos nichos. O *dramatis personae* da dinâmica social, portanto, não são os indivíduos, mas as regras comportamentais: o seu desempenho é fundamental; e o que os indivíduos fazem é importante apenas no sentido de sua contribuição para o sucesso ou fracasso das primeiras.

Um expoente moderno da tradição evolucionária iniciada por Hume e Smith é Frederick Hayek, cuja abordagem é denominada “a teoria da ordem espontânea” ou “a sociedade auto-organizada”. Nessa abordagem, a evolução das regras sociais é produto de incontáveis interações, cujas consequências de seu agregado muitas vezes não são intencionais. Assim, as instituições evoluem por tentativa e erro, ocorrendo, como disse Marx, pelas costas dos participantes (Bowles, 2004).

Assim, Bowles (2004) identifica quatro características fundamentais do processo evolucionário:

- Aleatoriedade: possui papel central na dinâmica evolucionária, podendo ser caracterizada como uma inovação comportamental que, assim como as

mutações, não é uma “melhor resposta” e cujo processo de transmissão é diferente: as inovações comportamentais podem ser passadas para a próxima geração ou copiadas por outros através da transmissão cultural, ou seja, através do processo de aprendizado de agentes adaptativos;

- Replicação: imprime direção ao processo evolucionário, uma vez que a ideia fundamental é que as características institucionais e comportamentais dos indivíduos e sociedades que efetivamente observamos são aquelas que foram copiadas e difundidas, isto é, replicadas;
- Dinâmica “fora do equilíbrio”: a dinâmica de replicação é uma alternativa à análise estática comparativa, onde o tempo não é modelado explicitamente, levando em conta movimentos “fora de equilíbrio” das populações com base em premissas empiricamente plausíveis a respeito das capacidades cognitivas e dos comportamentos dos indivíduos e na representação de suas interações sociais; e
- Estrutura da população: ao considerar a modelagem hierárquica da população, a replicação pode ocorrer em mais de um nível simultaneamente – indivíduos interagem entre si, mas também formam grupos que, por sua vez, também interagem. Dessa forma, ocorre a seleção multi-nível: não apenas traços individuais, como crenças ou preferências, podem ser replicados, mas também instituições e características ao nível de grupo; resultando em um processo coevolucionário das características em ambos os níveis.

Os traços culturais, segundo Bowles (2004), se referem aos comportamentos aprendidos, ao invés de geneticamente transmitidos. O aprendizado a partir dos pais é denominado transmissão cultural vertical; enquanto o aprendizado a partir de professores ou outros indivíduos da geração dos pais é chamado de transmissão oblíqua, e o aprendizado a partir de membros do grupo de mesma faixa etária, transmissão horizontal. A inclinação do indivíduo em adotar um dado comportamento é dada por uma ou mais das seguintes razões: o comportamento é comum em sua localidade (conformismo, exposição); em experiências prévias, o comportamento foi mais bem sucedido que outros (aprendizado por reforço); ou o comportamento maximiza o retorno, dada as crenças do indivíduo sobre a distribuição dos comportamentos alheios na população (melhor resposta).

Bowles (2004) opta pela modelagem da transmissão cultural através do mecanismo de melhor resposta, às vezes combinado com o de conformismo. Assim, os indivíduos

atualizam suas estratégias em face de duas informações: seus *payoffs* relativos aos demais e a frequência dos traços culturais na população, onde o grau de conformidade mede a importância do último em relação ao primeiro.

Um importante modelo que considera o mecanismo de transmissão cultural é o modelo de Disseminação de Cultura de Axelrod (1997). Nele, o autor define cultura como o conjunto de atributos individuais sujeito a influência social; cultura é algo que as pessoas aprendem umas com as outras. O modelo proposto pelo autor presume duas condições:

1. Os indivíduos são mais propensos a interagir com outros que possuem atributos culturais semelhantes aos seus;
2. Essas interações tendem a aumentar a quantidade de atributos culturais semelhantes entre os indivíduos, tornando mais provável que interajam novamente.

Uma descrição concisa da implementação original do modelo é apresentada por Izquierdo et al (2009), a qual reproduzimos aqui. O modelo considera uma rede quadrada de tamanho  $L \times L$ , onde cada célula é ocupada por um indivíduo apenas, dotado de uma dada cultura. A cultura do indivíduo é definida por uma lista de  $f$  características ou dimensões culturais (idioma, religião, etc.); para cada característica existe um conjunto  $q$  de traços, que são os possíveis valores que a característica pode assumir. Assim, a cultura de um indivíduo pode ser representada por um vetor  $x_i$  de  $f$  variáveis onde cada variável recebe um valor inteiro no intervalo  $[0, q - 1]$ . Os atributos iniciais de cada indivíduo são sorteados aleatoriamente. Logo, o parâmetro  $q$  pode ser visto como uma medida da desordem inicial ou variedade cultural do sistema.

Então, a cada *round*, um agente  $k$  (ativo) é selecionado aleatoriamente, e um de seus vizinhos, denotado agente  $r$  (passivo) é também selecionado aleatoriamente. A interação entre os agentes  $k$  e  $r$  ocorre com probabilidade igual a sua similaridade cultural  $n_{kr}/f$ , onde  $n_{kr}$  representa a quantidade de características culturais nas quais os agentes  $k$  e  $r$  possuem o mesmo traço. A interação, então, consiste na seleção aleatória de uma das  $f - n_{kr}$  características do agente ativo  $k$  que difere daquelas do agente  $r$ , e cujo traço será copiado por  $k$ . Assim, o agente  $k$  se aproxima culturalmente do agente  $r$ .

O processo prossegue até que nenhuma alteração cultural possa ocorrer, isto é, quando todos pares de agentes vizinhos possuírem culturas idênticas (não restando traços a copiar) ou completamente diferentes (não interagindo).

Os resultados encontrados por Axelrod indicam que existe um processo de convergência social que pode resultar em uma grande região monocultural ou em uma polarização global, isto é, na existência de múltiplas regiões com diferentes culturas, conforme os parâmetros  $f$  e  $q$ .

Bowles (2004) acredita que uma fundamentação comportamental para a economia deve considerar crenças e preferências individuais como elementos centrais na explicação das ações tomadas pelos indivíduos, modificando os modelos convencionais em três aspectos distintos, quais sejam:

- Preferências sociais: muitos comportamentos são mais bem explicados pelas chamadas preferências sociais, onde os indivíduos consideram não apenas as consequências para si de seus atos, mas também para os demais e, muitas vezes, levam também em conta as intenções desses últimos. A reciprocidade é um bom exemplo disso, na qual os indivíduos são generosos com aqueles que se comportaram bem (em relação aos demais) enquanto punem aqueles que não o fizeram. A reciprocidade faz os indivíduos agirem dessa forma mesmo quando há custos pessoais envolvidos e sem a expectativa de recompensa posterior;
- Agentes adaptativos: os indivíduos são agentes adaptativos seguidores de regras. Assim, eles economizam seus recursos cognitivos agindo em conformidade com “regras de bolso”, o que é, muitas vezes, chamado de “racionalidade limitada”. Porém, a ênfase não se encontra na limitação da racionalidade e sim nas limitações da capacidade e disposição dos indivíduos em se envolver em complexos exercícios cognitivos. Dentre essas “regras comportamentais de bolso” se encontram os princípios éticos que governam as ações para com os demais, ou seja, as normas sociais, em conformidade com os valores próprios (internalização da norma) e com as sanções sociais; e
- Dependência do contexto: os comportamentos são dependentes do contexto, uma vez que especificidades do mesmo determinam os comportamentos apropriados em uma dada situação. Além disso, a avaliação é dependente do

ponto de vista do indivíduo, ou seja, do estado atual ou das experiências do mesmo como membro do grupo. Finalmente, as instituições sociais influenciam quem encontramos, para fazer o quê e com quais resultados; de forma que nossas motivações são definidas por um processo de transmissão cultural ou genética. Logo, nossas preferências são situação-específicas e endógenas.

Bowles (2004) define instituições como leis, regras informais, e convenções que imprimem um caráter durável a estrutura de interações sociais entre os membros de uma população. A conformidade ao comportamento prescrito pelas instituições pode ser garantida por uma combinação de coerção de um poder central (leis), sanção social (regras informais) e expectativas mútuas (convenções), fazendo com que a conformidade seja a melhor resposta para praticamente todos os membros do grupo.

Embora considere que as instituições possam ser modeladas como um jogo, o autor argumenta que, para entender as razões pelas quais as instituições mudam, elas também podem ser vistas como o equilíbrio de um jogo subjacente. Uma vez que as instituições são persistentes, ao invés de efêmeras, é natural sua representação como um equilíbrio estável de um jogo que inclui uma ampla gama de ações, inclusive aquelas que não são observáveis em um dado arranjo institucional, mas que poderiam ser parte de outro, sob diferentes estratégias. Assim, quando um conjunto de melhores respostas mútuas é praticamente universal em uma população por um longo período de tempo, ele se constitui como uma ou mais instituições.

Chang e Evans (2005), por sua vez, definem instituições como padrões sistemáticos de expectativas compartilhadas, premissas dadas, normas aceitas e rotinas de interação que possuem efeitos robustos ao moldar as motivações e comportamentos de um conjunto de atores sociais interconectados. Segundo os autores, o “institucionalismo” convencional reduz as instituições a consequências funcionalistas de considerações de eficiência ou reflexões instrumentais de interesses. Assim, propõem uma visão “encorpada” das instituições, uma que reconheça tanto o papel fundamental da cultura e das ideias como o papel constitutivo das instituições na formação da maneira que grupos e indivíduos definem suas preferências.

Segundo eles, uma abordagem institucional adequada deve desenvolver uma visão sobre a forma com a qual as instituições moldam o comportamento e resultados



econômicos e; criar um entendimento sistemático de como as instituições em si são formadas e se modificam ao longo do tempo. Dessa forma, vão além da visão de “instituições como restrições”, definindo-as como instrumentos que viabilizam alcançar objetivos que requerem coordenação supra-individual e, mais ainda, que são constitutivos dos interesses e visões de mundo dos atores econômicos.

Nem a visão funcionalista, onde o que existe deve ser “eficiente”, uma vez que se assim não fosse, não existiria; nem a visão instrumentalista, onde as instituições são criadas e modificadas para refletir interesses exógenos dos poderosos, são visões adequadas. Chang e Evans (2005) argumentam a favor de uma perspectiva mais “culturalista” (ou Gramsciana) na qual as mudanças institucionais dependem de uma combinação baseada em interesses e em projetos culturais/ideológicos (na qual a visão de mundo pode moldar os interesses, bem como vice-versa).

Os autores também argumentam que, enquanto a economia *mainstream* costuma não considerar as instituições e, quando o faz, as vê como “restrições” criadoras de “rigidez”; outras visões, menos populares entre os economistas, consideram as instituições como constitutivas. Nesse caso, as instituições possuem uma dimensão simbólica e, portanto, contém valores ou visões de mundo. Em outras palavras, enquanto se comportam sob um dado conjunto de instituições, os agentes passam a internalizar os valores contidos nessas instituições e, como resultado, mudam seu comportamento. Isso não aconteceria se os indivíduos possuíssem uma atitude completamente instrumental em relação às instituições, pois só obedeceriam às regras em benefício próprio. Entretanto, seguindo essa linha de raciocínio, não poderíamos explicar sequer a existência de instituições.

Assim, Chang e Evans (2005) concluem que, a não ser que aceitemos que os indivíduos acreditam (com diferentes intensidades) nos valores subjacentes à instituição considerada e que eles costumeiramente agem em conformidade com tais valores sem a necessidade constante de monitoramento e sanção, não podemos explicar a existência de nenhuma instituição.

A abordagem dos autores postula uma causação de mão-dupla entre motivações individuais e instituições sociais, ao invés da causação simples de indivíduos para instituições. A origem das instituições e forma com que sofrem mudanças, por sua vez,

podem ser entendidas a partir de duas abordagens distintas: orientada a eficiência e baseada em interesses.

A versão mais sofisticada da primeira estende o argumento da dimensão “cultural” no sentido que as visões de mundo dos agentes importam. Seus proponentes partem da premissa que os agentes possuem racionalidade limitada e argumentam que as instituições tornam o mundo mais inteligível para os primeiros, ao restringir as opções de comportamento e ao confinar sua atenção a um conjunto reduzido de possibilidades. Nessa visão, a racionalidade limitada torna inevitável que os agentes operem através de um “modelo mental” do mundo que, não necessariamente, é um bom modelo de mundo. Dada a aderência dos agentes a certa visão de mundo, eles podem preferir certas instituições que venham a se encaixar nela (ou em seus “valores morais”), embora isso não seja necessariamente eficiente. Alguns adeptos dessa versão ainda argumentam que a visão de mundo dos agentes não é independente das instituições sob as quais eles operam, isto é, que existe “formação endógena de preferências” (Hodgson, 1988 *apud* Chang e Evans, 2005). Isso aconteceria devido ao fato que instituições incorporam “valores morais” e os agentes, ao operar sob as mesmas por um período de tempo, passam a internalizar tais valores, correspondente ao papel constitutivo das instituições.

Na abordagem baseada em interesses, a versão mais sofisticada pode ser chamada “interesse estruturado baseado na cultura”. Seus adeptos argumentam que não existem “interesses objetivos que podem ser entendidos de forma independente do entendimento dos atores” (Friedland e Alford, 1991, p.244 *apud* Chang e Evans, 2005, p. 9). Ainda, estabelecem que mudanças institucionais são “simultaneamente transformações simbólicas e materiais do mundo”, envolvendo “não apenas alterações na estrutura de poder e de interesses, mas na definição de poder e interesses” (Friedland e Alford, 1991, p.246 *apud* Chang e Evans, 2005, p. 9) e indicam que regras e símbolos podem ser recursos manipulados por indivíduos, grupos e organizações. Assim, essa visão considera um projeto de mudança institucional não apenas como um “projeto material”, mas como um “projeto cultural” no sentido que são requeridas (ou ao menos facilitadas por) mudanças na “visão de mundo” dos agentes envolvidos. Além disso, ao incluir a possibilidade de “manipulação cultural”, o papel da ação humana torna-se mais importante que em qualquer outra versão da teoria, uma vez são os agentes humanos que interpretam ativamente o mundo e desenvolvem discursos que justificam suas visões de mundo. Parafraseando

Marx, são os seres humanos que fazem a história, embora nem sempre possam fazê-lo nos contextos de sua própria escolha (Chang e Evans, 2005).

A introdução de uma consideração teórica de ideologia e visão de mundo, ainda que primitiva, na discussão de mudanças institucionais permite um melhoramento qualitativo sobre as teorias básicas baseadas em eficiência e interesses (Chang e Evans, 2005).

De acordo com Ostrom (2011), o estudo das instituições é fundamentado em um trabalho teórico em três níveis distintos de especificidade: *frameworks*, teorias e modelos. Os *frameworks* se constituem na forma mais genérica de análise teórica, identificando elementos constituintes e suas relações entre si, provendo um conjunto de variáveis que podem ser utilizadas na análise de quaisquer tipos de arranjos institucionais. As teorias, por sua vez, permitem analisar quais elementos do *framework* são particularmente relevantes para a questão considerada e determinar as premissas necessárias para diagnosticar um dado fenômeno, seus respectivos processos e resultados esperados. Já o uso de modelos requer a especificação de premissas exatas a respeito de um conjunto limitado de variáveis e parâmetros a fim de determinar os resultados esperados das combinações dessas sob a luz de uma dada teoria.

Assim, um *framework* institucional deve identificar os principais tipos de variáveis estruturais presente nos mais diferentes arranjos e cujos valores diferem de uns pros outros. O *framework* de Análise de Desenvolvimento Institucional (*Institutional Analysis and Development – IAD*) foi originalmente concebido em um *workshop* de Teoria Política e Análise de Políticas na Universidade de Indiana, por Elinor e Vincent Ostrom. O *framework* provê uma abordagem sistemática da análise das instituições que governam as ações e resultados em arranjos coletivos (Ostrom, 2007). Nele, as instituições são definidas como um conjunto de prescrições e restrições que as pessoas usam para organizar todas as formas de interações estruturadas e repetitivas, como regras ou normas (Ostrom, 2005); e a análise pode se dar em múltiplos níveis: operacional, onde indivíduos tomam decisões cotidianas; de escolha coletiva, onde as decisões são focadas nas regras que governam as atividades operacionais e; constitucional, onde o foco reside nas regras que governam as decisões em nível de escolha coletiva (Ostrom, 1990).

O foco analítico do IAD é a “arena de ações”, composta por atores e “situações de ação”, onde ocorrem as escolhas sociais e as decisões dos atores, e da qual os padrões de

interação e resultados derivam. Além disso, a “arena de ações” pode ser influenciada por três tipos de variáveis externas: i) instituições ou regras que governam a arena; ii) características da comunidade e; iii) atributos do ambiente físico com o qual a comunidade interage (Ostrom, 2005, 2011).

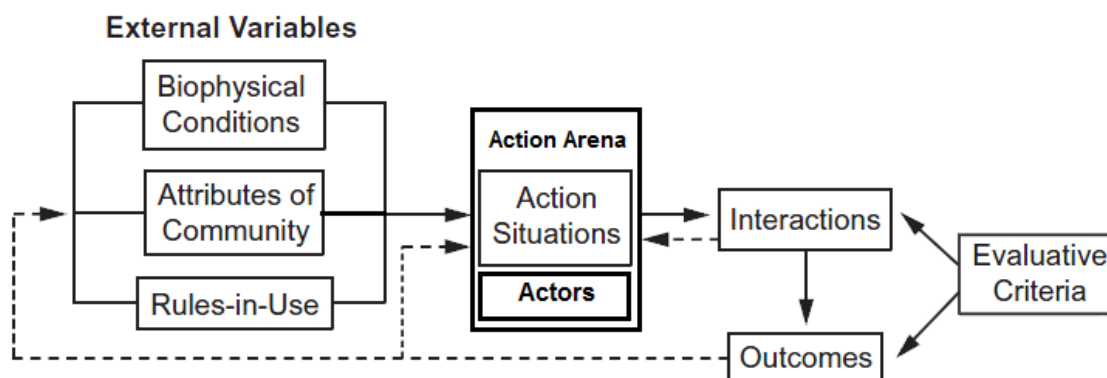


Figura 1. Elementos do framework de análise institucional. Figura adaptada de Ostrom (2011).

A “situação de ação”, como uma unidade conceitual, pode ser utilizada para descrever, analisar, prever e explicar comportamentos dentro de um arranjo institucional. Um ator dentro de uma “situação de ação” inclui premissas relativas a quatro grupos de variáveis: i) os recursos que o ator traz para a situação; ii) a avaliação que os atores fazem dos estados do mundo e das ações; iii) a forma com que os atores obtêm, processam e retêm a informação e; iv) os processos utilizados pelos atores para selecionar determinado curso de ação. A “situação de ação” é o espaço social onde os indivíduos interagem, trocam mercadorias e serviços, resolvem problemas, etc. A maioria dos trabalhos teóricos toma a situação e as estruturas motivacionais e cognitivas dos agentes como dadas. Entretanto, dois refinamentos podem ser considerados: i) considerar os fatores que afetam a estrutura da situação e ii) explorar de que forma a “situação de ação” se altera ao longo do tempo em função de resultados anteriores e consequentes alterações de percepção e estratégia (Ostrom, 2011).

A estrutura de uma “situação de ação” pode ser descrita através de um conjunto de variáveis, a saber:

- i) Um conjunto de atores;
- ii) Os papéis (*positions*) preenchidos pelos participantes;
- iii) As ações possíveis e seus respectivos resultados;

- iv) Os resultados potenciais decorrentes de uma sequência de ações individuais;
- v) O nível de controle de cada participante sobre suas escolhas;
- vi) As informações disponíveis aos participantes sobre a estrutura da “situação de ação” e;
- vii) Os custos e benefícios – estímulos e desestímulos – associados às ações e resultados.

Além disso, a repetição, finita ou não, da “situação de ação” também afeta as estratégias individuais (Ostrom, 2011).

Dentre os tipos de variáveis externas que influenciam a “arena de ações”, encontram-se as instituições ou regras que governam as relações entre os indivíduos, os atributos dos estados do mundo e suas transformações e, os atributos da comunidade na qual se desenrola a situação. No contexto do *framework*, as regras são classificadas de acordo com seu impacto nos elementos da “situação de ação” e, portanto, podem ser divididas também em sete tipos distintos: i) de entrada e saída (*boundary*); ii) de papel (*position*); iii) de escopo; iv) de *payoffs*; v) de agregação; vi) de escolha e; vii) de informação.

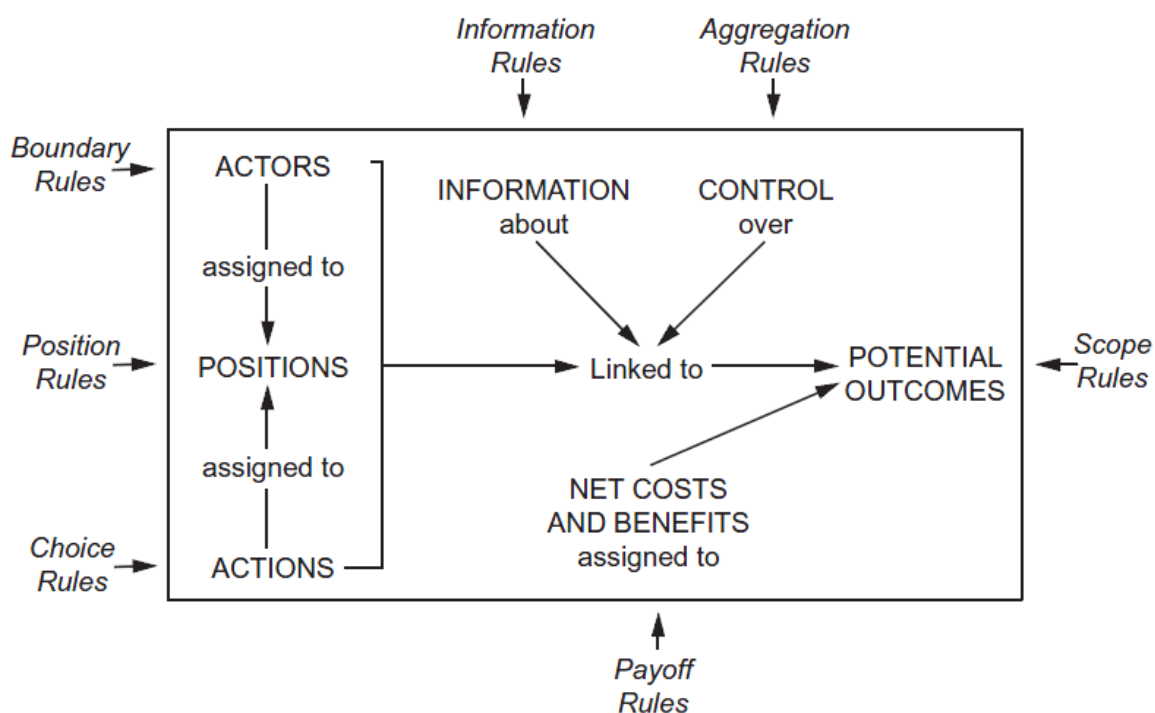


Figura 2. Regras como variáveis exógenas afetando diretamente os elementos de uma “situação de ação”. Figura obtida de Ostrom (2011).

Quanto às características da comunidade, podemos incluir fatores como: os valores comportamentais geralmente aceitos na comunidade; o nível de homogeneidades das preferências dos membros; o tamanho e a composição da comunidade e; o nível de desigualdade entre os membros. Ao interagir em uma diversidade de situações, os indivíduos recebem informações sobre a estrutura na qual se encontram antes de realizar uma ação; e geralmente recebem um *feedback* após a realização. O aprendizado a partir dos resultados obtidos pelo próprio indivíduo e pelos demais estimula a revisão dos modelos mentais se houver alguma insatisfação. A cultura, assim como o *feedback* do mundo exterior, também afeta os modelos mentais que os participantes utilizam nas situações. O termo “cultura” é frequentemente utilizado para descrever os valores de uma comunidade e pode ser pensado como um conjunto reduzido de modelos mentais compartilhados pelos indivíduos (Ostrom, 2005).

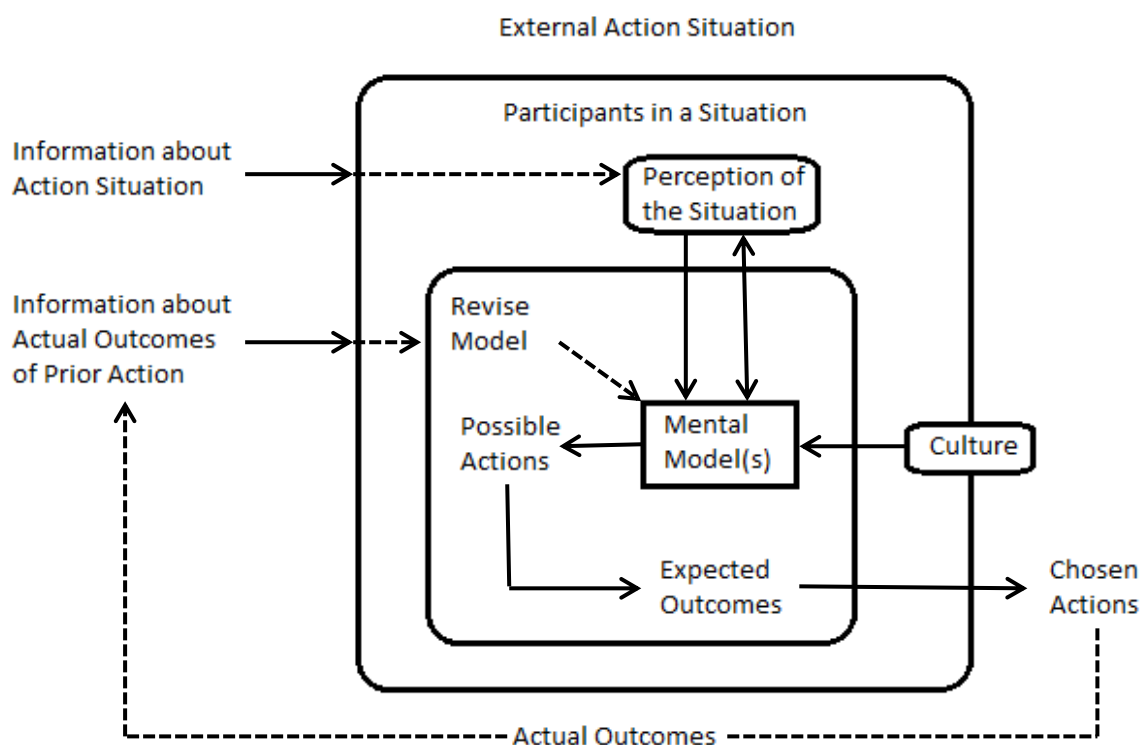


Figura 3. Relação entre informação, ação-resultado e modelos mentais. Figura obtida de Ostrom (2005).

E, quanto aos atributos do ambiente físico, podemos considerar fatores como a mobilidade e o fluxo de recursos dentro da arena, bem como os atributos de exclusividade e rivalidade desses recursos (Ostrom, 2005, 2011).

### 2.3 SISTEMAS COMPLEXOS

Mitchel (2009) define a área de sistemas complexos como um campo interdisciplinar de pesquisa que procura explicar como grandes quantidades de entidades relativamente simples se organizam, sem a ajuda de qualquer controle central, em uma entidade coletiva que cria padrões, processa informações e, eventualmente, evolui e aprende. Um sistema complexo também pode ser definido como um sistema que exhibe comportamentos emergentes e de auto-organização não triviais.

Os sistemas complexos estão presentes nos mais diferentes ambientes. Colônias de formigas, células do sistema imunitário, agentes econômicos, são todos exemplos de sistemas complexos em ação. Os mecanismos que permitem que as interações entre os agentes – sejam formigas, células ou seres humanos – produzam comportamentos estruturados e considerados ‘inteligentes’ ainda não são bem compreendidos pelos pesquisadores.

Os sistemas complexos possuem características comuns, de acordo com Mitchell (2009):

- Comportamento coletivo complexo: os sistemas são compostos de grandes redes de componentes individuais que, tipicamente, seguem regras relativamente simples sem um controle central. São as ações coletivas de um grande número de componentes que promovem padrões de comportamento complexos, frequentemente mutantes e difíceis de prever.
- Sinalização e processamento de informações: os sistemas produzem e utilizam informações e sinais dos ambientes interno e externo.
- Adaptação: os sistemas se adaptam, isto é, alteram seu comportamento a fim de aumentar suas chances de sobrevivência ou sucesso através de processos evolucionários ou de aprendizado.

Também na economia, os agentes, sejam indivíduos ou firmas, ao comprar e vender mercadorias, produzem um comportamento coletivo ou agregado que pode ser considerado complexo. Segundo a autora, as economias são consideradas adaptativas nos níveis micro e macroscópico. No primeiro, indivíduos, companhias e mercados tentam aumentar sua lucratividade aprendendo sobre o comportamento dos demais agentes. No segundo, a teoria

econômica clássica acredita que a perseguição ao interesse próprio leva os mercados, em nível agregado, ao equilíbrio. A esse comportamento de auto-organização, Adam Smith chamou de “mão invisível”.

Embora a teoria econômica clássica considere os mercados eficientes, isto é, que os mesmos tendem ao equilíbrio, o mundo real é repleto de evidências empíricas da ineficiência dos mercados. Os economistas envolvidos no campo de sistemas complexos têm tentado explicar o comportamento do mercado em termos similares aos usados na descrição de outros sistemas complexos: padrões dinâmicos de comportamento global de difícil previsão, como bolhas e crashes; processamento de sinais e de informação, como o processo decisório de compradores e vendedores e a habilidade resultante dos mercados em ‘calcular’ preços eficientes; e adaptação e aprendizado, como o ajuste da produção em resposta às mudanças nas preferências dos compradores (Mitchell, 2009).

Dentre os economistas que têm utilizado o ferramental de sistemas complexos para tentar explicar o comportamento econômico agregado observado nos mercados, encontra-se W. Brian Arthur (1994, 1999, 2005, 2013), autor do termo “economia da complexidade”, que propõe uma abordagem econômica “fora do equilíbrio”.

## **2.4 ECONOMIA FORA DO EQUILÍBRIO**

Nas últimas décadas, o significativo avanço do poder computacional disponível permitiu a incorporação de uma ampla gama de métodos e ferramentas que, embora há muito desejáveis, não eram factíveis de ser aplicados à modelagem de problemas. Assim, a ciência sempre recorreu à modelos analíticos e solucionáveis matematicamente a fim de buscar respostas para seus questionamentos. As ciências naturais se beneficiaram largamente dessa abordagem, desenvolvendo inúmeros modelos que descrevem adequadamente os mais diferentes fenômenos. Nesse âmbito, a física, e em particular a física estatística, estudou fenômenos macroscópicos a partir das descrições de comportamentos microscópicos das partículas e suas interações locais.

Já no âmbito das ciências sociais, em particular na economia, foi aplicado o mesmo repertório matemático usado nas ciências naturais. As partículas, ou agentes econômicos, são objeto de estudo da microeconomia e o seu comportamento agregado resulta nos



fenômenos que são objeto de estudo da macroeconomia. Incorporaram-se as noções de equilíbrio do sistema como um todo, e definiram-se as descrições de comportamentos microeconômicos dos agentes compatíveis com os fenômenos macroeconômicos observados. Adotaram-se, assim, diversos pressupostos, dentre os quais o do agente racional e maximizador de sua utilidade ao tomar suas decisões. A economia neoclássica foi bem-sucedida em explicar os fenômenos macroeconômicos até certo ponto, e passou a ser questionada a partir da ocorrência de eventos incompatíveis com os resultados de equilíbrio propostos pela teoria. Surgiram novas idéias e premissas alternativas, como a da racionalidade limitada, que ajudaram a mitigar as falhas da teoria. Apesar de suas deficiências, a economia neoclássica ainda é a corrente dominante na atualidade.

Entretanto, as premissas neoclássicas têm sido cada vez mais questionadas. Em 1994, Arthur (1994) introduziu um problema econômico, denominado “Problema do Bar El Farol”, no qual apresenta questionamentos às premissas neoclássicas de racionalidade dedutiva. Segundo o autor, esse tipo de racionalidade, embora útil na resolução de problemas teóricos, demanda excessivamente o comportamento humano, geralmente muito mais do que ele consegue desenvolver. A racionalidade dedutiva, então, falharia em situações complexas, uma vez que o aparato lógico humano é incapaz de lidar com determinados níveis de complexidade e; pelo fato de que não é razoável esperar um comportamento perfeitamente racional da parte dos demais indivíduos, gerando a necessidade de realizar suposições sobre seus comportamentos. Daí decorre que os indivíduos estão inseridos em um contexto de crenças subjetivas e de crenças subjetivas sobre crenças subjetivas. Nesse contexto, não se aplicam premissas objetivas, bem definidas e compartilhadas por todos agentes, típicas da racionalidade dedutiva.

Surge, então, o questionamento de como modelar a racionalidade limitada no âmbito da economia. Segundo o autor, existe razoável consenso na psicologia que os seres humanos se utilizam de métodos de raciocínio indutivo, característicos e predizíveis, em situações complexas ou mal-definidas.

A modelagem do processo indutivo supõe um conjunto de agentes heterogêneos que formam hipóteses ou crenças subjetivas. Essas crenças podem ser definidas de diferentes formas: uma expressão matemática que descreve uma variável ou ação; um modelo de expectativas, do tipo comumente usado na economia; uma hipótese estatística ou; regras condicionais de previsão. Ao realizar escolhas, os agentes agem em

conformidade com seu conjunto de crenças. O agregado das ações tomadas, por sua vez, resulta em um *feedback* do ambiente sobre o qual os agentes reforçam ou enfraquecem suas hipóteses, que vão sendo substituídas conforme a necessidade (Arthur, 1994).

O processo descrito acima envolve o aprendizado por parte dos agentes. Logo, trata-se também de um processo evolucionário, onde “nesse mundo de hipóteses, para ser acurada e então utilizada, elas devem ser submetidas a prova, competindo e sendo adaptadas em um ambiente criado pelas hipóteses de outros agentes”.

Dessa forma, o autor lança as bases para uma nova forma de pensar os problemas econômicos, usando o ferramental de sistemas complexos adaptativos, relaxando as premissas do agente perfeitamente racional, permitindo a heterogeneidade de comportamento dos agentes, e estudando o comportamento emergente agregado resultante das interações locais desses agentes. A essa abordagem, W. Brian Arthur chamaria de “economia da complexidade” alguns anos depois, em seu artigo “*Complexity and the Economy*” (Arthur, 1999).

Nesse outro artigo, o autor elabora ainda mais as premissas que sustentam sua nova abordagem, distinguindo a mesma da teoria econômica convencional:

“... [a economia convencional] não estuda os desdobramentos dos padrões criados pelos agentes, mas simplifica essas questões a fim de procurar uma solução analítica. Portanto, pergunta-se quais elementos comportamentais são consistentes com os padrões agregados que esses elementos comportamentais criam em conjunto?”.

Por outro lado, a economia da complexidade, segundo Arthur, ocupa-se de sistemas que contém não-linearidades na forma de *feedbacks* positivos e com ênfase na formação de estruturas ao invés de tomar suas existências como dadas.

A partir dos questionamentos levantados em seus trabalhos prévios, Arthur (2005) estabelece a relevância do estudo da economia “fora-do-equilíbrio”. E, para tal, elenca a abordagem algorítmica e computacional como a mais adequada. Embora criticada, não sendo considerada como teoria econômica, essa abordagem é defendida pelo autor, que argumenta que trabalhar nas implicações de um dado conjunto de premissas, seja de forma computacional ou “à mão” é indiferente, do ponto de vista teórico. E conclui o argumento defendendo que os métodos não são excludentes entre si, podendo ser combinados para obtenção de melhores resultados.

Recentemente, Arthur (2013) resumiu diversos aspectos tratados sob o tema “economia da complexidade” nos últimos 20 anos. Um dos aspectos mais importantes levantados é o surgimento de um plano intermediário da economia, a meso-economia, que estuda fenômenos situados entre os níveis micro e macro. Tais fenômenos seriam espontâneos, únicos em período de aparição, tamanho de propagação e tempo de duração e, mais ainda, temporais. O exemplo dado pelo autor seria um engarrafamento de automóveis, situado entre o nível micro (cada automóvel) e o nível macro (o fluxo total da rodovia). Na mesma categoria seriam classificados fenômenos econômicos como bolhas e *crashes*, a observação de *clusters* de volatilidade e o “contágio súbito” (*sudden percolation* no termo original).

A ferramenta por excelência nessa nova abordagem da economia é a modelagem baseada em agentes, mais especificamente, a simulação social baseada em agentes (*Agent-Based Social Simulation* – ABSS no termo original), da qual trataremos na próxima seção.

## 2.5 SIMULAÇÃO SOCIAL BASEADA EM AGENTES

Realizar uma simulação significa aplicar um modelo de um sistema a um conjunto adequado de parâmetros e observar os resultados correspondentes (Bratley, Fox e Schrage, 1987 *apud* Axelrod, 2005).

Dentre os propósitos de elencados por Axelrod (2005) para se realizar uma simulação, destacamos:

- **Predição:** uma simulação é capaz de receber parâmetros complicados, processá-los levando em conta mecanismos hipotéticos e gerar as consequências dos mesmos como predições. A predição pode ajudar a validar ou melhorar o modelo no qual a simulação se baseia;
- **Prova:** uma simulação pode ser usada para demonstrar uma prova de existência. O “Jogo da Vida” de Conway demonstra que comportamentos complexos podem resultar de regras muito simples (Poundstone, 1985 *apud* Axelrod, 2005);
- **Descobrimto:** o uso da simulação para o descobrimto de novas relações e princípios é tão importante quanto os propósitos anteriores. Nas ciências

sociais, particularmente, mesmo modelos de simulação altamente sofisticados raramente se provam completamente acurados. Ainda assim, os cientistas sociais têm sido bem-sucedidos em descobrir relações e princípios importantes a partir de modelos simples. Quanto mais simples o modelo, mais fácil se torna descobrir e entender os efeitos sutis de seus mecanismos hipotéticos.

A simulação também pode ser considerada como uma alternativa de “terceira via” para a pesquisa científica. De acordo com Axelrod (2005), enquanto o raciocínio indutivo trata da descoberta de padrões a partir de dados empíricos, o raciocínio dedutivo envolve a especificação de um conjunto de axiomas e a prova das consequências derivadas dessas premissas. A simulação, por sua vez, assim como o raciocínio dedutivo, começa com um conjunto de premissas. Mas, ao contrário desse, não há prova de teoremas, e sim a geração de dados que podem ser analisados de forma indutiva.

Ainda, segundo o autor, ao passo que as premissas podem ser simples, as consequências podem não ser óbvias. Os efeitos agregados das interações locais são chamados de “propriedades emergentes” do sistema. Existem alguns modelos nos quais as propriedades emergentes podem ser formalmente deduzidas. É o caso dos modelos econômicos neoclássicos com agentes racionais representativos. Porém, quando se considera agentes que utilizam estratégias adaptativas ao invés de estratégias otimizadoras, a dedução torna-se impossível e a simulação, necessária.

Na visão de Axelrod (2005), a razão da dominância da abordagem da escolha racional não se deve ao fato de a academia considerá-la realística, e sim ao fato de a mesma permitir o raciocínio dedutivo. Assim, a alternativa principal seria alguma forma de comportamento adaptativo, em nível individual, através do aprendizado; ou em nível populacional, através da seleção e reprodução dos indivíduos mais bem-sucedidos. As consequências desses comportamentos, entretanto, dificilmente poderiam ser deduzidas, uma vez que as interações entre os agentes produzem efeitos não-lineares. Assim, o autor considera a simulação como sendo a única forma viável de estudar populações de agentes cujo comportamento é adaptativo.

Um dos mais importantes tipos de simulação nas ciências sociais, segundo o autor, é a modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM), caracterizada pela

existência de múltiplos agentes que interagem entre si com pouca ou nenhuma coordenação central. As propriedades emergentes de um modelo baseado em agentes são, portanto, resultado de um processo “*bottom-up*”. O objetivo principal desse tipo de simulação é o entendimento de processos fundamentais subjacentes ao modelo simulado, pois, embora o tópico investigado possa ser complicado, as premissas utilizadas no modelo de simulação devem ser simples.

Um agente típico de uma simulação possui algumas características, conforme Macal e North (2005):

- Um agente é identificável, um indivíduo discreto com um conjunto de características e regras que governam seu comportamento e sua capacidade de tomar decisões;
- Um agente se situa em um ambiente no qual “vive” e interage com outros agentes através de protocolos, sendo capaz de responder às alterações no ambiente. Os agentes são capazes de reconhecer e distinguir traços dos outros agentes;
- Um agente é orientado a objetivos (não necessariamente objetivos de maximização), buscando alcançá-los através de seu comportamento;
- Um agente é autônomo e auto-direcionado, podendo funcionar de forma independente no ambiente e em suas interações com os demais agentes, ao menos em uma gama limitada de situações;
- Um agente é flexível e capaz de aprender e adaptar seu comportamento ao longo do tempo baseado em sua experiência, requerendo alguma forma de memória. Um agente pode ter regras que modificam suas regras de comportamento.

Em uma simulação baseada em agentes aplicada a processos sociais, agentes representam pessoas ou grupos de pessoas e as relações entre agentes representam processos de interação social (Gilbert e Troitzsch, 1999 *apud* Macal e North, 2005). A premissa fundamental é a de que as pessoas e suas interações sociais podem ser modeladas de maneira crível com algum nível razoável de abstração para, pelo menos, propósitos específicos e bem definidos (Macal e North, 2005).

A primeira simulação social baseada em agentes é creditada a Thomas Schelling (1978), na qual o autor identifica a formação de guetos residenciais como um comportamento emergente derivado de preferências individuais e não necessariamente

consistentes com o resultado agregado, no que ficou conhecido como “Modelo de Segregação de Schelling”.

Outro importante trabalho na área de simulação social baseada em agentes foi desenvolvido por Epstein e Axtell (1996), através do modelo *Sugarscape*, no qual os autores desenvolveram uma sociedade artificial onde os agentes apresentaram uma variedade de atributos e comportamentos e onde emergiram processos sociais diversos, como doenças, comércio, guerras e cultura, entre outros.

A identificação de mecanismos de interação social pelos quais emerge um comportamento cooperativo entre indivíduos e entre grupos é uma questão interessante e com implicações práticas (Macal e North, 2005). Existe, portanto, a necessidade de uma ciência social generativa onde os processos dos quais emergem estruturas sociais podem ser entendidos como resultado necessário de interações sociais (Epstein, 2005)

Um extensivo estudo sobre as contribuições da simulação social baseada em agentes para os dilemas sociais como o “Dilema do Prisioneiro” e a “Tragédia dos Comuns”, incluindo mecanismos, implicações e aplicações, pode ser encontrado em (Gotts, Polhill e Law, 2003).

## **2.6 REDES COMPLEXAS**

As redes de relacionamentos sociais já eram objeto de estudo de pesquisadores muito antes do advento das modernas redes sociais na Internet. Na década de 30, Jacob Moreno introduziu uma ferramenta de análise de redes sociais chamada sociograma, cuja representação consistia de vértices e arestas representando, respectivamente, indivíduos e os relacionamentos entre eles.

Essa representação de redes tornou-se, posteriormente, aquilo que hoje conhecemos como grafos. Conforme Van Steen (2010), grafos são objetos matemáticos e, portanto, vêm acompanhados de um arcabouço teórico que permite aos pesquisadores focalizar na estrutura das redes a fim de determinar o comportamento de grupos sociais.

Ainda, segundo o autor, a análise de redes sociais tem sido importante para o desenvolvimento da teoria dos grafos, por exemplo, no que tange à introdução de métricas

para a identificação da importância de pessoas ou grupos. A teoria dos grafos provê ferramentas para descrever formalmente o que consideramos como mais relevante ou possuindo maior influência.

Introduziremos, então, alguns conceitos e definições de teoria dos grafos e de redes complexas reproduzidos de Van Steen (2010).

Formalmente, um grafo  $G$  consiste numa coleção  $V$  de vértices e uma coleção de arestas  $E$ , o qual representamos por  $G = (V, E)$ . Cada aresta  $e \in E$  conecta dois vértices, chamados de pontas. Se  $e$  conecta  $u, v \in V$ , representamos  $e = \langle u, v \rangle$ . Os vértices  $u$  e  $v$ , nesse caso, são ditos adjacentes. A aresta  $e$  é dita incidente aos vértices  $u$  e  $v$ .

Representamos os conjuntos de vértices e arestas associados ao grafo  $G$  por  $V(G)$  e  $E(G)$ , respectivamente. Uma aresta que conecta um vértice a ele mesmo é denominada laço. Dois vértices podem estar conectados por múltiplas arestas. Se um grafo não possui laços ou múltiplas arestas, ele é denominado um grafo simples. Por outro lado, um grafo onde cada vértice está conectado a todos os demais é denominado grafo completo.

Para um grafo qualquer  $G$  e um vértice  $v \in V(G)$ , a vizinhança  $N(v)$  do vértice  $v$  é o conjunto de vértices, excluindo  $v$ , adjacentes à  $v$ , ou seja:

$$N(v) = \{ w \in V(G) \mid v \neq w, \exists e \in E(G) : e = \langle u, v \rangle \} \quad (1)$$

O número de arestas incidentes a um vértice  $v$  é chamado de grau ou valência de  $v$ , denotado por  $\delta(v)$ . Os laços são contados duas vezes. Para todo grafo  $G$ , a soma dos graus de seus vértices é exatamente o dobro do número de arestas, ou seja:

$$\sum_{v \in V(G)} \delta(v) = 2 |E(G)| \quad (2)$$

Se todos os vértices possuem o mesmo grau, o grafo é dito regular.

Os grafos podem ser representados por uma matriz de adjacência. Considere um grafo  $G$  com  $n$  vértices e  $m$  arestas. Sua matriz de adjacência é uma tabela  $A$  com  $n$  linhas e  $n$  colunas onde cada entrada  $A[i, j]$  representa o número de arestas conectando os vértices  $v_i$

e  $v_j$ . Uma matriz de adjacência é simétrica, uma vez que cada aresta representa um par não ordenado de vértices. A soma dos valores de uma linha  $i$  é igual ao grau do vértice  $v_i$ .

Um passeio  $(v_0, v_k)$  em um grafo  $G$  qualquer é uma sequência alternada  $[v_0, e_1, v_1, e_2, \dots, v_{k-1}, e_k, v_k]$  de vértices e arestas de  $G$  onde  $e_i = \langle v_{i-1}, v_i \rangle$ . Uma trilha é um passeio onde todas arestas são distintas e um caminho é uma trilha onde todos vértices são distintos. Um ciclo é uma trilha fechada na qual todos os vértices são distintos, exceto  $v_0$  e  $v_k$ .

Dois vértices distintos  $u$  e  $v$  em um grafo  $G$  são conectados se existe um caminho  $(u, v)$  em  $G$ . Um grafo  $G$  é dito conectado se todos pares de vértices distintos são conectados. Assim, um grafo pode consistir de uma coleção de componentes, onde cada componente é um subgrafo conectado.

Ainda, as arestas de um grafo  $G$  podem possuir direção, isto é, apontando de um vértice para outro; ou podemos associar pesos às arestas, representando custo ou distância, por exemplo.

Um grafo direcionado ou dígrafo  $D$  consiste de uma coleção de vértices  $V$  e de uma coleção de arcos  $A$ , o qual representamos por  $D = (V, A)$ . Cada arco  $a = \langle \overline{u}, \vec{v} \rangle$  conecta o vértice  $u \in V$  a outro (não necessariamente distinto) vértice  $v$ . O vértice  $u$  é chamado cauda de  $a$  e o vértice  $v$  é chamado cabeça de  $a$ .

Para um vértice  $v$  de um dígrafo  $D$ , o número de arcos cuja cabeça é  $v$  é dito o grau de entrada  $\delta_{in}(v)$  de  $v$ . Da mesma forma, o grau de saída  $\delta_{out}(v)$  é o número de arcos que possuem  $v$  como sua cauda.

Quanto às métricas utilizadas para caracterizar as propriedades de um grafo ou rede, temos os graus dos vértices, estatísticas de distâncias, clusterização e centralidade.

Os graus dos vértices nos permitem identificar os atores chave em uma rede social: aqueles vértices com alto grau. Além disso, a distribuição dos graus dos vértices de uma rede nos permite realizar inferências sobre a estrutura dessa rede. Distribuições assimétricas, onde poucos vértices possuem altos graus em comparação aos demais são indicativas da existência de *hubs*, os próprios vértices de alto grau, e cuja remoção pode particionar uma rede em diversos componentes.



Além disso, podemos estar interessados na correlação dos graus entre os vértices, isto é, em que medida vértices de mesmo grau estão conectados entre si. Então, seja  $G$  um grafo simples com uma sequência de graus  $d = [d_1, d_2, \dots, d_n]$  e uma matriz de adjacência  $A$ ; e seja  $V(G) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  tais que  $\delta(v_i) = d_i$ . A correlação dos graus de  $G$  é definida como:

$$r_{deg}(G) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n ((d_i - \bar{d})(d_j - \bar{d})A[i, j])}{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \quad (3)$$

Quanto às estatísticas de distância, temos, primeiramente, a distância entre dois vértices quaisquer em um grafo. Seja  $G$  um grafo e  $u, v \in V(G)$ , então a distância entre  $u$  e  $v$ , denotada por  $d(u, v)$  é o tamanho do menor caminho entre  $u$  e  $v$ .

Outras importantes estatísticas de distância são o tamanho médio do caminho (*average path length*) e tamanho característico do caminho (*characteristic path length*). Seja  $G$  um grafo conectado com um conjunto de vértices  $V$  e seja  $\bar{d}(u)$  o tamanho médio dos menores caminhos entre o vértice  $u$  e qualquer outro vértice  $v \in G$ . O tamanho médio do caminho é dado por:

$$\bar{d}(G) = \frac{1}{|V|} \sum_{u \in V} \bar{d}(u) \quad (4)$$

O tamanho característico do caminho de  $G$  é dado pela mediana de todos  $\bar{d}(u)$ .

O coeficiente de clusterização indica em que medida os vizinhos de um dado vértice  $v$  são também vizinhos um do outro, ou seja, em que medida vértices adjacentes à  $v$  são também adjacentes entre si. Em termos de redes sociais, identificamos grupos interconectados como comunidades de indivíduos com muitas ligações entre seus membros e relativamente poucas ligações com membros de outras comunidades. Podemos expressar a existência de comunidades através do coeficiente de clusterização. Xu e Liu (2008) *apud* Van Steen (2010) demonstraram que existe uma relação direta entre a velocidade de disseminação de informação em redes sociais e o coeficiente de clusterização: quanto maior o grau de clusterização, mais lenta a disseminação.

Conforme Watts e Strogatz (1998), do ponto de vista local, a melhor clusterização possível é aquela na qual todos vizinhos são adjacentes entre si, isto é, a vizinhança  $N(v)$  de  $v$  forma um grafo completo. Supondo  $n_v = |N(v)|$ , sabemos que o número máximo de arestas é dado por  $\frac{1}{2}n_v(n_v - 1)$ . O coeficiente de clusterização, então, é dado pela razão entre a quantidade de arestas existentes e o seu máximo possível.

Considere um grafo  $G$  simples e conectado e um vértice  $v \in V(G)$  com vizinhança  $N(v)$ . Seja  $n_v = |N(v)|$  e  $m_v$  o número de arestas no subgrafo induzido por  $N(v)$ , i.e.,  $m_v = |E(G[N(v)])|$ . O coeficiente de clusterização  $cc(v)$  para o vértice  $v$  com grau  $\delta(v)$  é definido como:

$$cc(v) = \begin{cases} \frac{2m_v}{n_v(n_v - 1)}, & \text{se } \delta(v) > 1 \\ \text{não definido, caso contrário} \end{cases} \quad (5)$$

Assim, o coeficiente de clusterização  $CC(G)$  para um grafo inteiro é definido como a média de todos os coeficientes de clusterização (definidos) de seus vértices. Considere  $G$  um grafo simples e conectado e  $V^*$  o conjunto de vértices  $\{v \in V(G) \mid \delta(v) > 1\}$ . O coeficiente de clusterização  $CC(G)$  é definido como:

$$CC(G) = \frac{1}{|V^*|} \sum_{v \in V^*} cc(v) \quad (6)$$

Outra importante métrica de análise de redes é a centralidade, isto é, a medida de “importância” de um dado vértice em relação aos demais. A centralidade de intermediação (*betweenness centrality*) é uma medida muito utilizada nas ciências sociais. A ideia é simples: se um vértice encontra-se em muitos menores caminhos que conectam dois outros vértices, é um vértice importante. A remoção desse vértice, portanto, influenciaria diretamente o custo de conectividade entre outros vértices, uma vez que outros caminhos mais longos teriam de ser tomados. Formalmente, seja  $G$  um grafo simples e conectado, seja  $S(x,y)$  o conjunto de menores caminhos entre dois vértices  $x$  e  $y \in V(G)$  e  $S(x,u,y) \subseteq$

$S(x,y)$  aqueles que passam pelo vértice  $u \in V(G)$ . A centralidade de intermediação  $C_B(u)$  do vértice  $u$  é definido como:

$$C_B(u) = \sum_{x \neq y} \frac{|S(x, u, y)|}{|S(x, y)|} \quad (7)$$

Enquanto a teoria dos grafos tradicional se ocupa, geralmente, de grafos bem estruturados, a área atualmente denominada de nova ciência das redes se ocupa de grafos aleatórios, isto é, grafos construídos pela adição aleatória de arestas. Tais grafos foram estudados inicialmente por Paul Erdős e Alfred Rényi nos anos 50. Uma rede aleatória é um grafo simples e conectado no qual pares de vértices são conectados com dada probabilidade. Em termos gerais, isso significa que, começando com uma coleção de  $n$  vértices e para cada  $\binom{n}{2}$  arestas possíveis, adicionamos uma aresta  $\langle u, v \rangle$  com probabilidade  $p_{uv}$ . As redes aleatórias são consideradas importantes por descreverem muitos fenômenos do mundo real, como cadeias alimentares e redes de colaboração.

Dentre as métricas características, ressalta-se que grafos aleatórios apresentam o tamanho do caminho médio decaindo de forma logarítmica com o aumento do grau médio dos vértices, isto é, o tamanho do caminho médio tende a ser relativamente pequeno. Em situações reais, como em redes sociais, essa métrica também é observada. Porém, o coeficiente de clusterização de tais redes tende a ser mais alto que o observado nos grafos aleatórios.

Assim, Watts e Strogatz (1998) propuseram um método de construção de tais redes, denominadas de “redes de pequeno mundo” (*small world networks*). O algoritmo proposto pelos autores é definido como:

Considere um conjunto de  $n$  vértices  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  e um número (ímpar)  $k$ . A fim de garantir que o grafo terá relativamente poucas arestas (esparso), escolha  $n$  e  $k$  de forma que  $n \gg k \gg \ln(n) \gg 1$ .

1. Organize os  $n$  vértices em um anel e conecte cada vértice aos seus primeiros  $k/2$  vizinhos à esquerda e aos seus primeiros  $k/2$  vizinhos à direita, formando o grafo  $G$ .
2. Com probabilidade  $p$ , substitua cada aresta  $\langle u, v \rangle$  por uma aresta  $\langle u, w \rangle$  onde  $w$  é um vértice de  $V(G)$  escolhido aleatoriamente e diferente de  $u$ , de forma que  $\langle u, w \rangle$  não está contido no conjunto de arestas do grafo  $G$  modificado.

O grafo resultante é chamado grafo aleatório de Watts-Strogatz (ou grafo WS), também denotado por  $WS(n, k, p)$ .

Os autores estabelecem, a partir de seu algoritmo de construção, que muitos vértices permanecem próximos, mas que a maioria deles também possuirá uma ligação com outro vértice que está relativamente distante. Em redes sociais, essa ligação representa uma ligação entre diferentes comunidades.

Com relação às métricas características, um grafo WS apresenta alto coeficiente de clusterização, mesmo com  $p$  igual a zero. Quanto ao tamanho do caminho médio, observa-se uma rápida queda no mesmo com pequenos incrementos em  $p$ , enquanto o coeficiente de clusterização permanece alto.

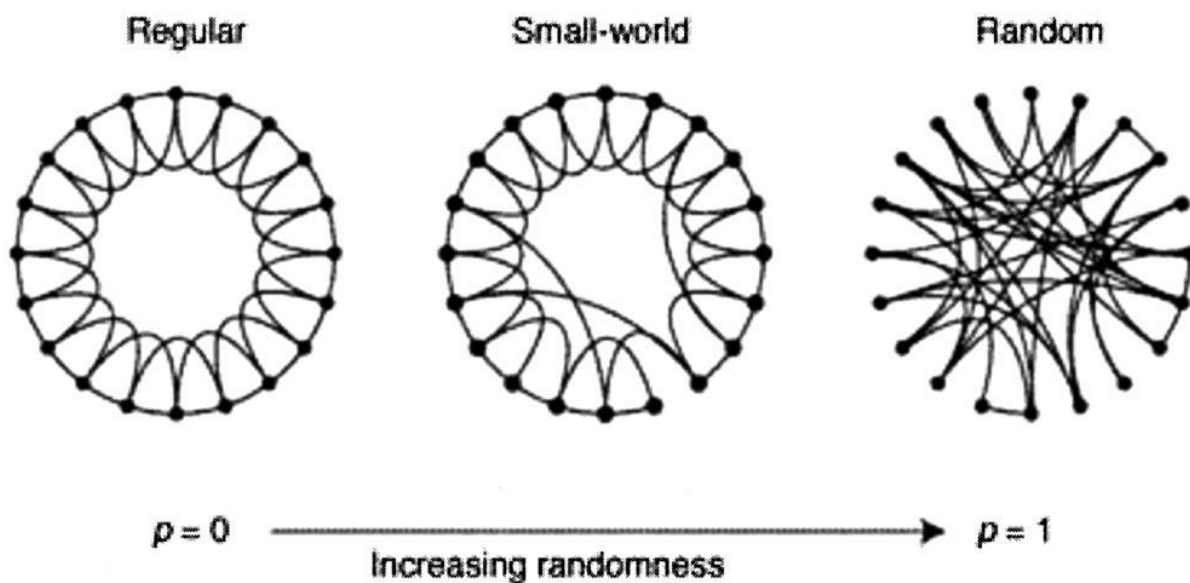


Figura 4. Modelo de Watts-Strogatz. O processo de religação aleatória do modelo de Watts-Strogatz, interpola entre um anel regular e uma rede aleatória sem alterar o número de vértices ou arestas. Começamos com  $N=20$  vértices, cada um conectado aos seus quatro vizinhos mais próximos. Para  $p=0$ , o anel permanece

inalterado e, conforme  $p$  aumenta, a rede torna-se cada vez mais desordenada até  $p=1$ , onde todas as arestas são religadas aleatoriamente. Figura obtida de Watts e Strogatz (1998).

Enquanto o modelo de Watts e Strogatz representa o fenômeno do “pequeno mundo”, outras propriedades de redes reais não são capturadas pelo modelo. Surgem, então, as redes livres de escala (*scale-free networks*) apresentadas por Barabási e Albert (2002) onde existem poucos vértices com alto grau e onde o número de vértices com alto grau decresce exponencialmente, isto é, a distribuição dos graus dos vértices obedece a uma lei de potência. Em termos aproximados, a probabilidade de um vértice arbitrário possuir um grau  $k$  é proporcional a  $(1/k)^\alpha$  para um  $\alpha > 1$  e denominado expoente de escala. Para a maioria das redes reais, temos  $2 < \alpha < 3$ .

O processo de construção de redes livres de escala, diferentemente dos anteriores, é um processo de crescimento também chamado de “ligação preferencial” (*preferential attachment*). Assim, a fim de entender a estrutura de redes reais, devemos nos concentrar na forma como novos vértices se ligam aos existentes.

O algoritmo proposto por Barabási e Albert (2002) é definido como:

Considere um (relativamente pequeno) grafo aleatório com  $n_0$  vértices  $V_0$ . A cada passo  $s > 0$ :

1. Adicione um novo vértice  $v_s$  a  $V_{s-1}$  ( $V_s \leftarrow V_{s-1} \cup \{v_s\}$ )
2. Adicione  $m \leq n_0$  arestas ao grafo, cada aresta incidindo em  $v_s$  e em um vértice  $u$  de  $V_{s-1}$  escolhido com probabilidade

$$P(\text{selecionar } u) = \frac{\delta(u)}{\sum_{w \in V_{s-1}} \delta(w)}$$

isto é, a escolha do vértice  $u$  é proporcional ao grau corrente do vértice  $u$ . O vértice  $u$  não pode ter sido escolhido previamente durante esse passo.

3. Pare quando  $n$  vértices tiverem sido adicionados, caso contrário, repita os dois passos anteriores.

O grafo resultante é chamado grafo aleatório de Barabási-Albert (ou grafo BA), também denotado por  $BA(n, n_0, m)$ . Dada sua forma de construção, um grafo BA possui uma probabilidade  $P(k)$  que um vértice arbitrário  $v$  possua grau  $k$  proporcional a  $k^{-3}$ .

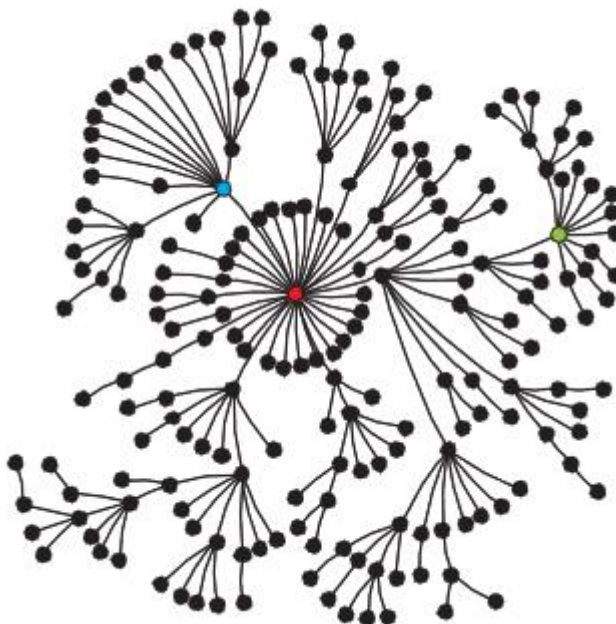


Figura 5. Grafo livre de escala, criado através da anexação aleatória de novos vértices aos existentes. A probabilidade de anexação é proporcional ao grau do vértice alvo; de forma que vértices muito conectados tendem a tornar-se ainda mais conectados, levando à formação de *hubs* e a uma distribuição de graus assimétrica e de cauda longa. As cores indicam os vértices com maior número de conexões (vermelho = 33, azul = 12. Verde = 11). Figura obtida de Strogatz (2001).

Com relação às métricas características, o tamanho médio do caminho é significativamente menor do que o dos grafos aleatórios, com a existência de *hubs*, isto é, vértices com alto grau. Assim, a maioria dos vértices pode facilmente alcançar outro através de um caminho contendo um *hub*. A isso, chama-se “mundo super-pequeno” (*super small world*), onde os *hubs* tornam-se um gargalo em potencial. Já quanto ao coeficiente de clusterização, o mesmo é superior ao dos grafos aleatórios, porém ainda pequeno. Outros autores propuseram extensões ao algoritmo de construção do grafo BA a fim de permitir aumentar o coeficiente de clusterização do grafo resultante conforme o desejado.

De acordo com Van Steen (2010), a análise de redes sociais a partir dos sociogramas desenvolvidos por Jacob Moreno nos anos 30 foi denominada sociometria e procurava realizar uma medida quantitativa das relações sociais. Um importante conceito criado é o de tríade. A tríade é definida como um subgrafo de um sociograma consistindo

em três pontos que podem estar conectados uns aos outros. As tríades tornaram-se importantes para o estudo da presença e evolução de grupos sociais. Por exemplo, Cartwright e Harary (1956) *apud* Van Steen (2010) elaboraram uma teoria de balanço social, onde eram considerados subgrupos de pelo menos três indivíduos e onde as relações entre eles eram consideradas simétricas, isto é, se A gosta de B, então B gosta de A.

Assim, um sociograma é utilizado para analisar um grupo social como um todo considerando simultaneamente as perspectivas de todos seus membros em seus relacionamentos. Pode-se, dessa forma, inferir sobre a estabilidade ou balanço do grupo como um todo e sobre em que medida se espera que os relacionamentos se alterem.

Supondo três indivíduos (A, B e C) onde cada indivíduo se relaciona com os outros dois, e onde “+” e “-” representam relações de “gostar” e “desgostar”, respectivamente, as possíveis combinações balanceadas (B) ou desbalanceadas (D) de uma tríade são:

**Tabela 2. Balanceamento de tríades**

A-B	B-C	A-C	B/D	Descrição
+	+	+	B	Todos gostam uns dos outros
+	+	-	D	O desgostar entre A e C estressa a relação que B possui com cada um deles
+	-	+	D	O desgostar entre B e C estressa a relação que A possui com cada um deles
+	-	-	B	A e B gostam um do outro e ambos desgostam de C
-	+	+	D	O desgostar entre A e B estressa a relação que C possui com cada um deles
-	+	-	B	B e C gostam um do outro e ambos desgostam de A
-	-	+	B	A e C gostam um do outro e ambos desgostam de B
-	-	-	D	Todos se desgostam uns dos outros

Fonte: Adaptado de Van Steen (2010).

Conforme Wasserman e Faust (1994) *apud* Van Steen (2010), um importante resultado da análise de redes sociais foi a teoria do balanço estrutural. A teoria considera o relacionamento entre indivíduos em um grupo como positivo ou negativo. Assim, a teoria se preocupa em determinar se os relacionamentos entre os indivíduos é tal que o grupo

como um todo pode ser considerado estável ou balanceado. Antes de definir formalmente um grupo balanceado, devemos definir um grafo com sinal.

Um grafo com sinal é um grafo simples  $G$  no qual cada aresta é rotulada com um sinal positivo (“+”) ou negativo (“-“). O sinal de uma aresta  $e$  é denotado por  $sign(e)$ .

Um tríade pode ser considerada balanceada se e somente se existir nenhuma ou um número ímpar de arestas com sinal negativo.

Assim, considere um grafo com sinal  $G$ . O produto de dois sinais  $s_1$  e  $s_2$  é também um sinal, denotado como  $s_1 * s_2$ . Esse sinal é negativo se e somente se apenas um dos sinais  $s_1$  e  $s_2$  for negativo. O sinal de uma trilha  $T$  é o produto dos sinais de suas arestas:  $sign(T) = \prod_{e \in E(T)} sign(e)$ .

Um caminho (ou ciclo) é positivo se possuir zero ou um número par de arestas com sinal negativo. Um caminho (ou ciclo) negativo é um caminho que não é positivo. Um grafo não direcionado com sinal é dito balanceado quando todos seus ciclos são positivos.

## 2.7 O MODELO DE METANORMAS DE AXELROD

Um dos primeiros autores a utilizar uma simulação computacional a fim de investigar a emergência de normas sociais que promovem a cooperação entre os agentes foi Robert Axelrod. Em seu artigo, “*An Evolutionary Approach to Norms*” (Axelrod, 1986), o autor investiga a emergência e estabilidade de normas comportamentais no contexto de um jogo com jogadores de racionalidade limitada, buscando mostrar as condições sob as quais as normas podem evoluir e se estabelecer.

O autor preferiu adotar a definição comportamental de uma norma social, uma vez que seu propósito era investigar a emergência ou queda em desuso de uma norma. Assim, Axelrod (1986) define: “uma norma existe em uma dada configuração social na medida em que indivíduos agem usualmente de uma determinada forma e são frequentemente punidos quando observados agindo diferentemente”. Dada a existência de exemplos empíricos que sugerem que as normas se alteram através de comportamento de tentativa e erro por parte dos agentes, o autor adotou também uma abordagem evolucionária. Assim, “a escolha em



um dado tempo é baseada na operacionalização da ideia que estratégias efetivas serão repetidas com maior probabilidade que as não-efetivas”.

Observamos em Axelrod (1986) os mesmos componentes de racionalidade limitada dos agentes e de processo evolucionário da formação de crenças ou normas que verificamos em outros autores (Arthur, 1999, Dawes, 1980, Kollock, 1998, Ostrom, 2000).

No modelo do “Jogo de Normas”, os agentes possuíam dois atributos: “ousadia” (*boldness*) e “vingança” (*vengefulness*). Cada atributo podia assumir valores discretos entre 0 e 7, inclusive, sendo representado por três *bits* de informação. O atributo de “ousadia” (*B*) representava a propensão do agente a desertar, enquanto o atributo “vingança” (*V*) representava a propensão do agente a punir uma deserção. A cada *round* os agentes podiam escolher entre cooperar e desertar. Suas escolhas eram influenciadas por seus atributos e pelo sorteio de uma variável aleatória com distribuição uniforme: a chance de ser visto por qualquer outro agente (*S*).

Assim, quando  $B > S$ , o agente desertava, recebendo um *payoff* referente a tentação de desertar ( $T = 3$ ) e infligindo um *payoff* negativo aos demais agentes ( $H = -1$ ). Uma deserção era observada por qualquer outro agente com probabilidade *S*, e esse agente punia o desertor com probabilidade dada por seu atributo *V*. Caso houvesse a punição, o desertor incorria em uma penalidade ( $P = -9$ ) e o punidor incorria em um custo ( $E = -2$ ). Um *round* era completo quando cada agente houvesse recebido uma oportunidade de desertar e de observar e, eventualmente, punir cada deserção ocorrida naquele *round*.

Uma sequência de quatro *rounds* constituía uma geração e, a cada geração, os agentes cujos *payoffs* acumulados nesses quatro *rounds* fossem superiores a um desvio padrão acima da média eram selecionados para se reproduzir. Durante a reprodução havia, ainda, uma probabilidade de 1% de mutação em cada *bit* de atributo dos agentes. A população total era ajustada de forma a permanecer constante a cada geração, embora esse processo não tenha sido detalhado pelo autor.

Dadas as características elencadas acima, observamos que o autor utilizou de uma rede caracterizada como um grafo completo como estrutura espacial para os jogadores. Essa é uma limitação importante do modelo, que assume uma simplificação da estrutura de forma a compensar o número limitado de agentes que dispunha para a simulação. A

possibilidade de mutação permite que o modelo seja, em teoria, expresso através de uma matriz de transição de Markov, onde cada estado pode ser atingido através de um número finito de passos a partir de qualquer outro estado, garantindo, portanto, a convergência para um estado estável.

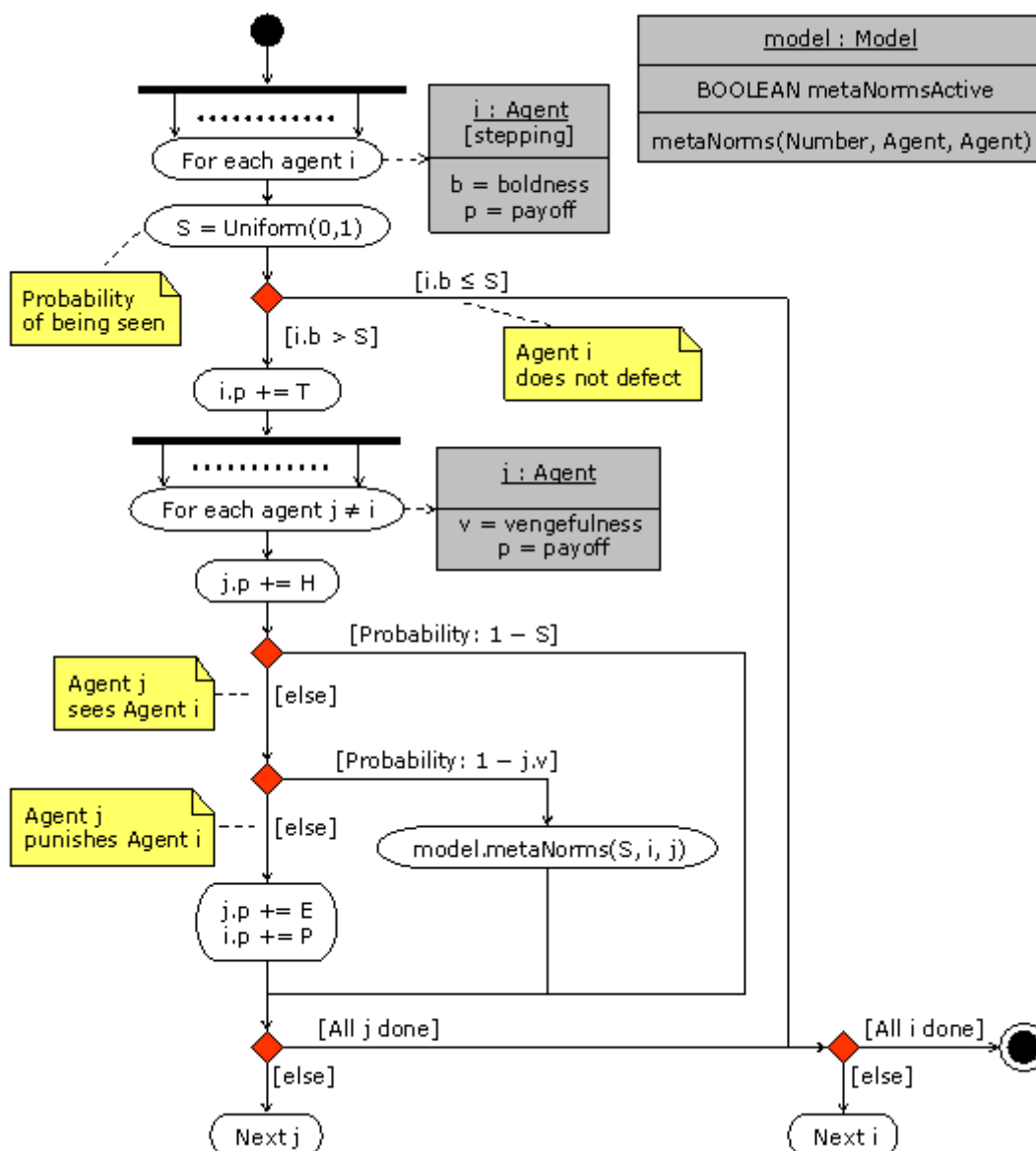


Figura 6. Diagrama de atividades de um round do “Jogo de Normas” de Axelrod. O método `metaNorms(S,i,j)` não possui funcionalidade nesse modelo. Figura obtida de Izquierdo e Galán (2005).

Em suas simulações, Axelrod utilizou uma população de 20 agentes cujos atributos iniciais eram randomizados. Uma sequência de 100 gerações constituía uma rodada de simulação e o autor realizou cinco rodadas distintas.

Como se podia esperar de uma simulação tão restrita, o autor observou diferentes resultados em cada uma das cinco rodadas. Mesmo assim, foi possível observar algumas tendências em comum no modelo do “Jogo de Normas”, como a redução inicial do nível de “ousadia”, seguida por uma redução do nível de “vingança” e o subsequente aumento do nível de “ousadia”, onde a estabilidade do sistema era alcançada com altos níveis de deserção – isto é, não havia estabelecimento de uma norma.

Izquierdo e Galán (2005) apresentam uma abstração matemática do modelo do “Jogo de Normas”. Para um dado agente  $i$  com atributos de ousadia  $b_i$  e vingança  $v_i$ , o *payoff* em cada *round* é dado por:

$$Payoff_i = Def_i T + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Def_j H + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Pun_{ij} E + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Pun_{ji} P \quad (8)$$

Onde  $T$ ,  $H$ ,  $E$  e  $P$  são os *payoffs* característicos do modelo,  $n$  é o número total de agentes e

$$Def_i = \begin{cases} 1, & \text{se o agente } i \text{ deserta} \\ 0, & \text{se o agente } i \text{ coopera} \end{cases} \quad \begin{cases} Prob(Def_i = 1) = b_i \\ Prob(Def_i = 0) = 1 - b_i \end{cases}$$

$$Pun_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o agente } i \text{ pune o agente } j \\ 0, & \text{se o agente } i \text{ não pune o agente } j \end{cases} \quad \begin{cases} Prob(Pun_{ij} = 1) = b_j \left(\frac{b_j}{2}\right) v_i \\ Prob(Pun_{ij} = 0) = 1 - b_j \left(\frac{b_j}{2}\right) v_i \end{cases}$$

O valor esperado do *payoff* de um agente  $i$  em cada *round* é dado por:

$$E(Payoff_i) = T b_i + H \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n b_j + E \frac{v_i}{2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n b_j^2 + P \frac{b_i^2}{2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j \quad (9)$$

De acordo com Izquierdo e Galán (2005), é possível, a partir da abstração matemática acima, demonstrar que as conclusões de Axelrod (1986) estavam corretas em relação ao modelo do “Jogo de Normas”, onde a norma inevitavelmente tende ao colapso.

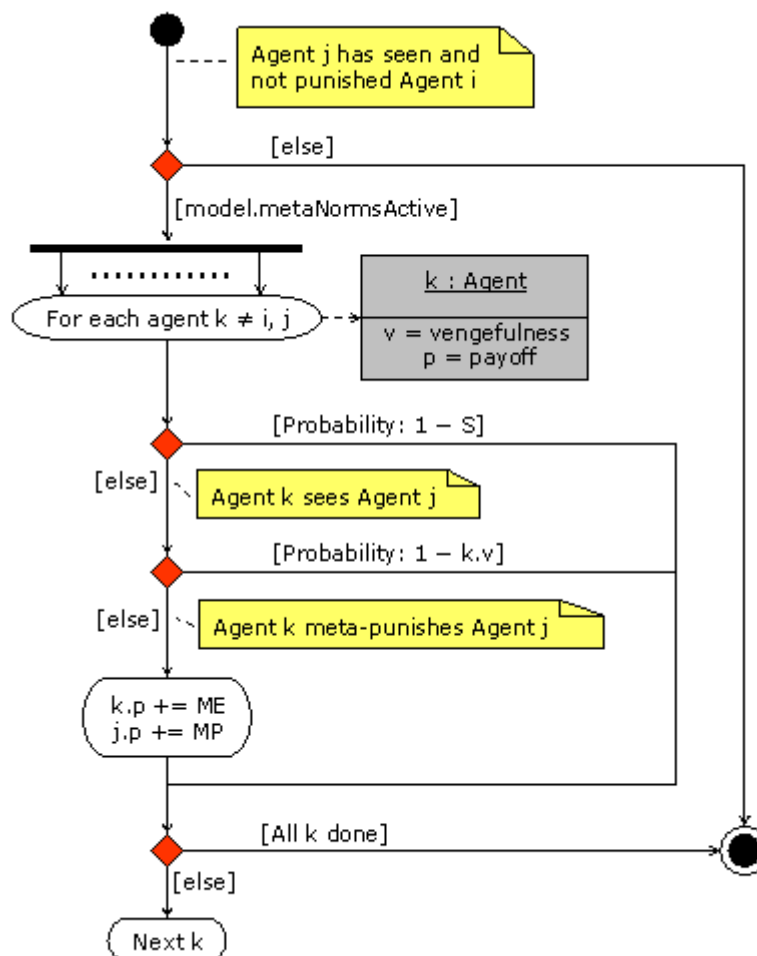


Figura 7. Diagrama de atividades do método  $metaNorms(S,i,j)$  presente na figura anterior. O parâmetro  $metaNormsActive$  é falso no “Jogo de Normas” e verdadeiro no “Jogo de Metanormas”. Figura obtida de Izquierdo e Galán (2005).

O *insight* de Axelrod (1986), entretanto, foi a observação que não existe incentivo à punição de uma deserção observada, já que o jogador que pune também incorre em um custo. Assim, o autor estabeleceu o que se chama de metanorma, isto é, a possibilidade de ser punido por não punir uma deserção. A mecânica da simulação era a mesma do modelo do “Jogo de Normas”, apenas acrescentando a possibilidade de punição de “2ª ordem” nos *payoffs* dos jogadores – o metadesertor incorria em uma penalidade ( $MP = -9$ ) e o metapunidor incorria em um custo ( $ME = -2$ ). Além disso, o modelo assumia que o nível de vingança contra os não-punidores era o mesmo que o nível de vingança contra os desertores.

Nesse caso, os resultados do modelo do “Jogo de Metanormas” se apresentaram de forma diferente: se o nível de “vingança” inicial fosse suficientemente alto, o sistema

convergia para um estado estável onde havia altos níveis de “vingança” e, consequentemente, de cooperação – uma norma havia sido estabelecida.

Para o modelo do “Jogo de Metanormas”, Izquierdo e Galán (2005) também apresentam uma fórmula para o valor esperado do *payoff* de um agente *i* em cada *round*:

$$\begin{aligned}
 E(\text{Payoff}_i) = & T b_i + H \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n b_j + E \frac{v_i}{2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n b_j^2 + P \frac{b_i^2}{2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j + ME \frac{v_i}{4} \sum_{k \neq i} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i, k}}^n b_k^3 (1 - v_j) \\
 & + MP \frac{(1 - v_i)}{4} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i, k}}^n b_k^3 v_j
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Conforme os autores, nesse caso existem dois equilíbrios, um onde a norma ainda colapsa, e outro onde a norma se estabelece. Uma norma é dita estabelecida se a “ousadia” média da população de agentes for inferior ou igual a 2/7 e a “vingança” média for superior ou igual a 5/7. Uma norma é dita colapsada se a “ousadia” média for superior ou igual a 6/7 e a “vingança” média for inferior ou igual a 1/7.

Segundo Izquierdo e Galán (2005), os resultados originalmente encontrados por Axelrod não são confiáveis e resultados diversos podem ser obtidos ao rodar o modelo por mais tempo ou ao realizar pequenas modificações nos parâmetros. Assim, os autores ressaltam a importância de repetições em experimentos de simulação:

“... rodar simulações com componentes estocásticos diversas vezes por diversos períodos, para que possamos estudar não apenas como o sistema pode se comportar, mas também como ele geralmente se comporta... explorar extensivamente o espaço dos parâmetros e analisar a sensibilidade do modelo aos seus parâmetros”.

Considerando o intervalo de quase 20 anos entre a implementação original do modelo de Axelrod (1986) e o de seus críticos, é natural que os recursos computacionais originalmente utilizados por Axelrod (1986) tornassem limitado o escopo de suas simulações.

Outra crítica ao modelo de Axelrod foi realizada recentemente por Mahmoud et al (2012), ao apontar o problema da onisciência dos agentes, uma vez que o modelo original assumia que toda informação estava disponível para todos agentes do sistema, que as

estratégias privadas dos agentes eram conhecidas pelos demais, e que os agentes eram conscientes de todas as deserções e punições ocorridas. Assim, os autores propõem uma implementação alternativa do modelo, substituindo a abordagem evolucionária por outra envolvendo o aprendizado dos agentes e restringindo as metapunições apenas aos agentes que observaram a deserção original.

Quanto à substituição da abordagem evolucionária, os autores justificam tal necessidade estabelecendo que em vários domínios não é possível remover agentes mal-sucedidos e replicar aqueles que são mais bem sucedidos e não existe controle central que poderia supervisionar esse processo. Dessa forma, eles sugerem que a necessidade de um mecanismo através do qual os agentes podem aprender a melhorar suas estratégias ao longo do tempo. Nessa abordagem, o mecanismo evolucionário se dá através de aprendizado, ao invés de remoção e replicação de agentes. Contudo, ainda assim, os autores ressaltam que essa interpretação de aprendizado requer que as estratégias privadas dos indivíduos sejam observáveis, o que também é uma suposição irreal. O mecanismo proposto é o “aprendizado por recompensa” (*reinforcement learning* no original), onde os indivíduos melhoram suas estratégias baseado em suas próprias experiências. São apresentados, nesse sentido, dois algoritmos: *Q-Learning* e *BV Learning (Boldness-Vengefulness Learning)*, esse último desenvolvido pelos autores especialmente para o modelo de Axelrod.

Então, os autores propõem futuros estudos da aplicação de seu modelo em diferentes topologias de rede a fim de analisar o impacto de diferentes topologias de rede sobre o estabelecimento ou não de uma norma social.

As topologias de rede utilizadas nos modelos de Axelrod (1986) – grafos completos – e de Mahmoud et al (2012) – redes quadradas – não correspondem à realidade das interações entre os indivíduos. O primeiro, presume a já criticada onisciência dos agentes sobre as ações de todos os demais; o segundo, que os agentes interagem apenas com seus vizinhos locais. Se a interação com os vizinhos locais parece razoável do ponto de vista de observação de comportamento de deserção ou cooperação, o mesmo não vale para o aprendizado ou cópia de estratégias.

Finalmente, Galán, Latek e Rizi (2011) analisam o “Jogo de Metanormas” de Axelrod em diferentes topologias de rede. Para tal, os autores se utilizaram dos algoritmos

de Barabási-Albert, de Watts, e de Erdős-Rényi para a geração de diferentes topologias. Os resultados encontrados pelos autores indicam que a estrutura de interação influencia a efetividade do mecanismo de metanormas. Além disso, eles identificam que medidas de rede, como o grau médio, o coeficiente de clusterização e a interconectividade (dada pelo número médio de trios por agente), são aspectos chave que contribuem para a sustentabilidade ou colapso de normas de cooperação em populações organizadas em redes.

### 3. O MODELO PROPOSTO

O modelo proposto nesse trabalho é baseado em uma versão modificada do modelo do “Jogo de Metanormas” de Axelrod (1986), incorporando diferentes aspectos já propostos por outros autores, como a não-onisciência dos agentes (Mahmoud et al., 2012), a possibilidade de escolha de pares (Hayashi, 1993 *apud* Kollock, 1998), a co-evolução de estratégias e redes sociais (Santos et al, 2006), a existência de dois planos de interação – geográfico e social – (Canova, 2011), a movimentação física dos agentes (Aktipis, 2011), o aprendizado por imitação (Macy, 1991) e a disseminação da cultura (Axelrod, 1997), a dinâmica de um recurso de uso comum (Bravo, 2011) e o papel das instituições (Bowles, 2004, Chang e Evans, 2005).

O modelo pode ser dividido, para fins de apresentação, em quatro dimensões distintas: o espaço cultural, onde acontecem os processos de imitação e influência institucional; o espaço social, onde os agentes estão conectados entre si em uma rede livre de escala; o espaço geográfico, um toro sobre o qual os agentes se movimentam; e o recurso de uso comum, representado por uma floresta a ser explorada pelos agentes. Cada dimensão possui seu mecanismo próprio de funcionamento e a integração de todas as dimensões se constitui na dinâmica do modelo.

Ao incorporar elementos pertencentes ao mundo físico e à dinâmica da comunidade de agentes, endogeneizamos importantes variáveis externas presentes no *framework* de análise e desenvolvimento institucional (IAD) de Ostrom (2005, 2007). Esquemáticamente, podemos visualizar a integração dos elementos constituintes do modelo na Figura 8.

A metodologia é a de simulação social baseada em agentes, através da qual os agentes que obedecem a regras relativamente simples interagem repetidamente entre si e com o ambiente, produzindo comportamentos emergentes do sistema. As ferramentas utilizadas são os *softwares* livres NetLogo – desenvolvido para a simulação baseada em agentes – e R – pacote estatístico que pode ser integrado com o NetLogo.

Apresentaremos, a seguir, os atributos dos agentes, as modificações ao modelo do “Jogo de Metanormas”, o detalhamento das dimensões elencadas e da dinâmica integrada das mesmas, seguido dos parâmetros de interesse do modelo, sua implementação e os resultados obtidos.



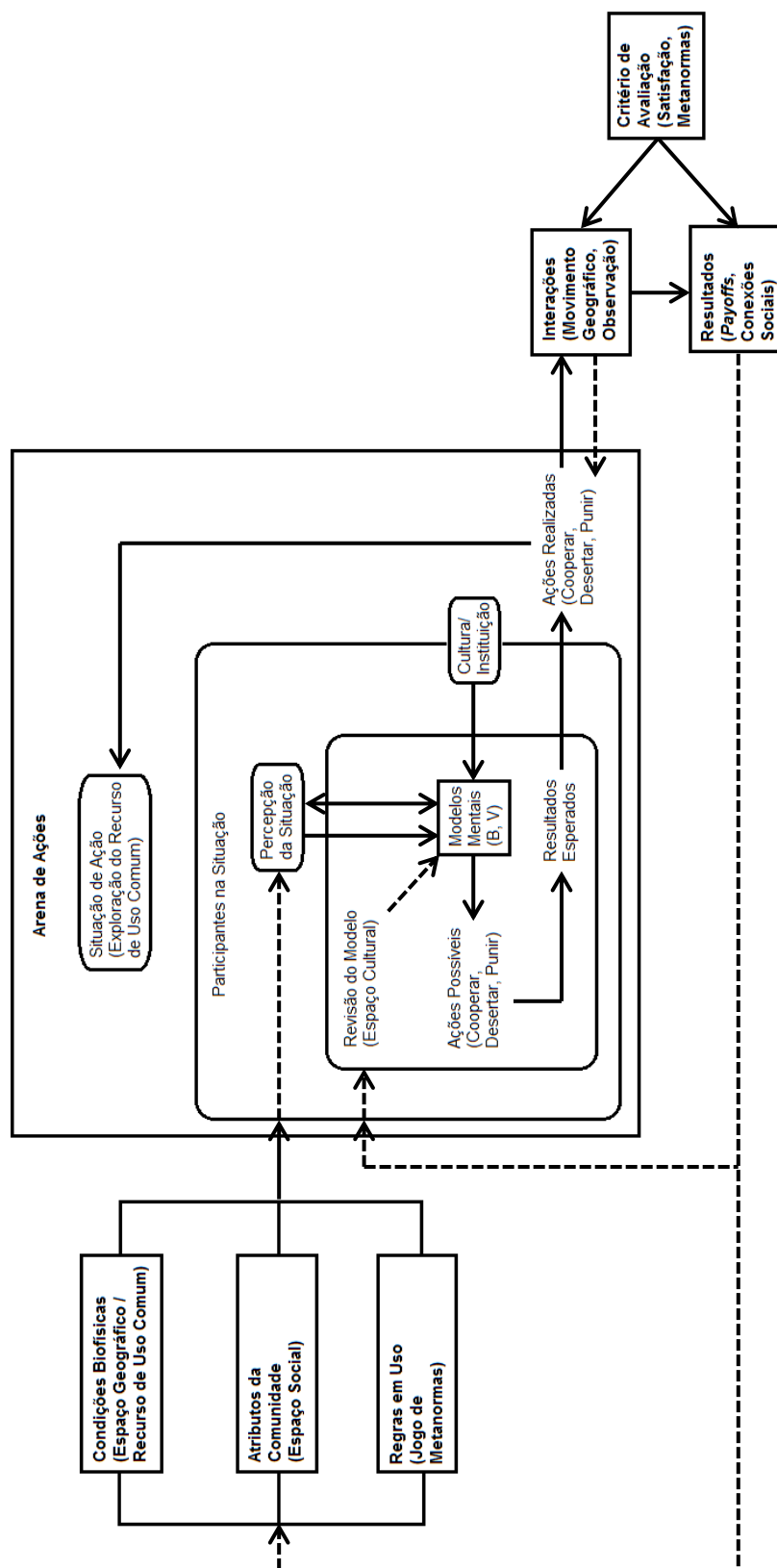


Figura 8. Elementos constituintes do modelo no framework IAD. Elaborado pelo autor.

### 3.1 AGENTES

Os agentes, em número total de  $N$ , são dotados, assim como no modelo do “Jogo de Metanormas” original, dos atributos “ousadia” ( $B$ ) e “vingança” ( $V$ ). Esses atributos podem assumir valores inteiros no intervalo  $[0, 7]$ . Uma população inicial de desertores é definida, portanto, com os agentes recebendo os valores  $(7,0)$  para os atributos  $(B,V)$  em cada simulação.

Além disso, a cada *round* é sorteada, a partir de uma distribuição uniforme no intervalo  $[0,1]$ , a chance do agente ser observado por um outro agente qualquer ( $S$ ).

Definimos, então, vetores coluna de tamanho  $N$  para ambos os atributos e para a chance de o agente ser observado:

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_N \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} S_1 \\ \vdots \\ S_N \end{bmatrix}$$

### 3.2 ESPAÇO GEOGRÁFICO

O espaço geográfico do modelo, sobre o qual os agentes se movimentam e onde podem observar as ações de seus vizinhos, é caracterizado por uma rede quadrada de lado  $L$  em forma de toro, a fim de diminuir os efeitos de borda e tornar todas as células da rede equivalentes. A ocupação máxima de cada célula da rede é de um único agente. A densidade populacional no espaço geográfica é dada por  $\rho = N / L^2$ .

As vizinhanças no espaço geográfico podem ser de dois tipos: de Von Neumann e de Moore. A vizinhança de Von Neumann de uma célula em uma rede quadrada bidimensional pode ser expressa como o conjunto de quatro células ortogonais ao seu redor ou, ainda, como o conjunto de células cuja distância de Manhattan<sup>4</sup> da célula central é igual a uma unidade. Essa definição alternativa nos permite definir a vizinhança de Von Neumann para raios superiores a uma unidade, sendo o raio dado pela distância de Manhattan a partir da célula central.

---

<sup>4</sup> A distância de Manhattan é definida como a soma das diferenças absolutas de suas coordenadas cartesianas.

A vizinhança de Moore de uma célula em uma rede quadrada bidimensional pode ser expressa como o conjunto de oito células ao seu redor ou, ainda, como o conjunto de células cuja distância de Tchebycheff<sup>5</sup> é igual a uma unidade. Da mesma forma, também podemos definir a vizinhança de Moore para raios superiores a uma unidade, sendo o raio dado pela distância de Tchebycheff a partir da célula central.

A distância geográfica entre dois agentes  $i$  e  $j$  é dada por sua distância euclidiana no toro:

$$DistGeo_{ij} = \sqrt{(\min\{|x_i - x_j|, L - |x_i - x_j|\})^2 + (\min\{|y_i - y_j|, L - |y_i - y_j|\})^2}$$
(23)

Onde  $(x_i, y_i)$  e  $(x_j, y_j)$  são as coordenadas geográficas dos agentes  $i$  e  $j$ , respectivamente, e  $L$  é o tamanho do lado do toro.

A distância geográfica normalizada para a unidade é dada, então, por:

$$NDistGeo_{ij} = \frac{DistGeo_{ij}\sqrt{2}}{L}$$
(24)

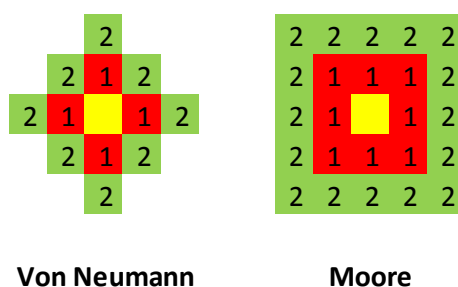


Figura 9. Vizinhanças de Von Neumann e de Moore de raios um (vermelho) e dois (verde). Elaborado pelo autor.

<sup>5</sup> A distância de Tchebycheff é definida como a máxima distância entre dois pontos em um dado sistema de coordenadas.

### 3.3 O MODELO DE METANORMAS MODIFICADO

Na Seção 2.7, apresentamos o modelo do “Jogo de Metanormas” de Axelrod (1986) em sua concepção original. Em nossa versão do modelo, manteremos os conceitos básicos do mesmo, onde os atributos de “ousadia” e “vingança” dos agentes (cujos valores estão no intervalo  $[0,7]$ ), em conjunto com a chance de o agente ser observado por um outro agente, definem as ações realizadas por cada agente em cada *round*, qual sejam, cooperar ou desertar, punir ou não punir.

Sejam  $i, j$  e  $k$  agentes cujos atributos são  $(b_i, v_i)$ ,  $(b_j, v_j)$  e  $(b_k, v_k)$ , respectivamente e  $S_i, S_j, s_{ij}, s_{jk}, p_j$  e  $p_k$  variáveis aleatórias uniformemente distribuídas no intervalo  $[0,1]$ . As ações realizadas por cada um dos agentes em um dado *round* são definidas conforme abaixo:

$$\begin{aligned}
 Def_i &= \begin{cases} 1, se b_i > 7 S_i \\ 0, caso contrário \end{cases} & Obs_{ij} &= \begin{cases} 1, se s_{ij} < S_i \\ 0, caso contrário \end{cases} \\
 Enf_j &= \begin{cases} 1, se v_j > 7 p_j \\ 0, caso contrário \end{cases} & Pun_{ij} &= \begin{cases} 1, se Enf_j = 1 e Obs_{ij} = 1 e Def_i = 1 \\ 0, caso contrário \end{cases} \\
 MetaDef_j &= \begin{cases} 1, se Enf_j = 0 e Obs_{ij} = 1 e Def_i = 1 \\ 0, caso contrário \end{cases} & Obs_{jk} &= \begin{cases} 1, se s_{jk} < S_j \\ 0, caso contrário \end{cases} \\
 MetaPun_{jk} &= \begin{cases} 1, se Enf_k = 1 e Obs_{jk} = 1 e MetaDef_j = 1 \\ 0, caso contrário \end{cases}
 \end{aligned}$$

Onde  $S_i$  e  $S_j$  são as chances dos agentes  $i$  e  $j$ , respectivamente, serem observados por outro agente qualquer;  $s_{ij}$  e  $s_{jk}$  são as chances do agente  $j$  observar o agente  $i$  e do agente  $k$  observar o agente  $j$ , respectivamente e;  $p_j$  e  $p_k$  são as chances dos agentes  $j$  e  $k$  serem punidores, respectivamente.

Adotando uma abordagem matricial para representação do modelo, definimos:

$$\begin{aligned}
 S_m &= \begin{bmatrix} S_1 & \cdots & S_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_N & \cdots & S_N \end{bmatrix} & s &= \begin{bmatrix} 0 & \cdots & s_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} & Obs_m &= \begin{bmatrix} 0 & \cdots & Obs_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Obs_{N1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \\
 B_m &= \begin{bmatrix} b_1 & \cdots & b_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_N & \cdots & b_N \end{bmatrix} & Def_m &= \begin{bmatrix} Def_1 & \cdots & Def_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Def_N & \cdots & Def_N \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$p_m = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_N \end{bmatrix} \quad Enf_m = \begin{bmatrix} Enf_1 & \cdots & Enf_N \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Enf_1 & \cdots & Enf_N \end{bmatrix} \quad Pun_m = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & Pun_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Pun_{N1} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$MDef_m = \begin{bmatrix} MetaDef_1 & \cdots & MetaDef_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ MetaDef_N & \cdots & MetaDef_N \end{bmatrix} \quad MPun_m = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & MetaPun_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ MetaPun_{N1} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

Assim, organizamos os agentes desertores nas linhas da matriz  $Def_m$  e os agentes punidores nas colunas da matriz  $Enf_m$ . Da mesma forma, o agente “é visto” nas linhas da matriz  $S_m$  e “vê” nas colunas da matriz  $s$ . A matriz de observações,  $Obs_m$ , portanto, é dada pela comparação, elemento a elemento, de ambas as matrizes.

Essa organização permite que a matriz de punições,  $Pun_m$ , possa ser obtida pelo produto de Hadamard, isto é, pela multiplicação elemento a elemento, das matrizes envolvidas:

$$Pun_m = Enf_m \circ Def_m \circ Obs_m \quad (12)$$

Ou seja, quando um dado elemento  $a_{ij}$  for igual a 1 em todas três matrizes, significa que se trata de uma situação onde o agente  $i$  desertou, o agente  $j$  é punidor e o último observou o primeiro.

Definiremos, agora, dois operadores necessários para a sistematização das ações nessa abordagem matricial. Assim, seja  $rs$  um operador tal que, para uma matriz  $A_{n \times n}$ , temos  $rs(A_{n \times n}) = B_{n \times 1}$ , onde:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad rs(A) = B = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n a_{1i} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n a_{ni} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Analogamente, seja  $cs$  um operador tal que, para uma matriz  $A_{n \times n}$ , temos  $cs(A_{n \times n}) = B_{1 \times n}$ , onde:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad cs(A) = B = \left[ \sum_{i=1}^n a_{i1} \quad \cdots \quad \sum_{i=1}^n a_{in} \right] \quad (14)$$

Então, podemos obter a matriz de metadesertores através da seguinte operação:

$$MDef_m = rs([(1 - Enf_m) \circ Def_m \circ Obs_m]^T) \quad (15)$$

A matriz de metapunições, por sua vez, é obtida da seguinte forma:

$$MPun_m = Enf_m \circ MDef_m \circ Obs_m \quad (16)$$

A sequência de ações possíveis em cada *round* pode ser representada, esquematicamente, pelo fluxo apresentado na figura abaixo:

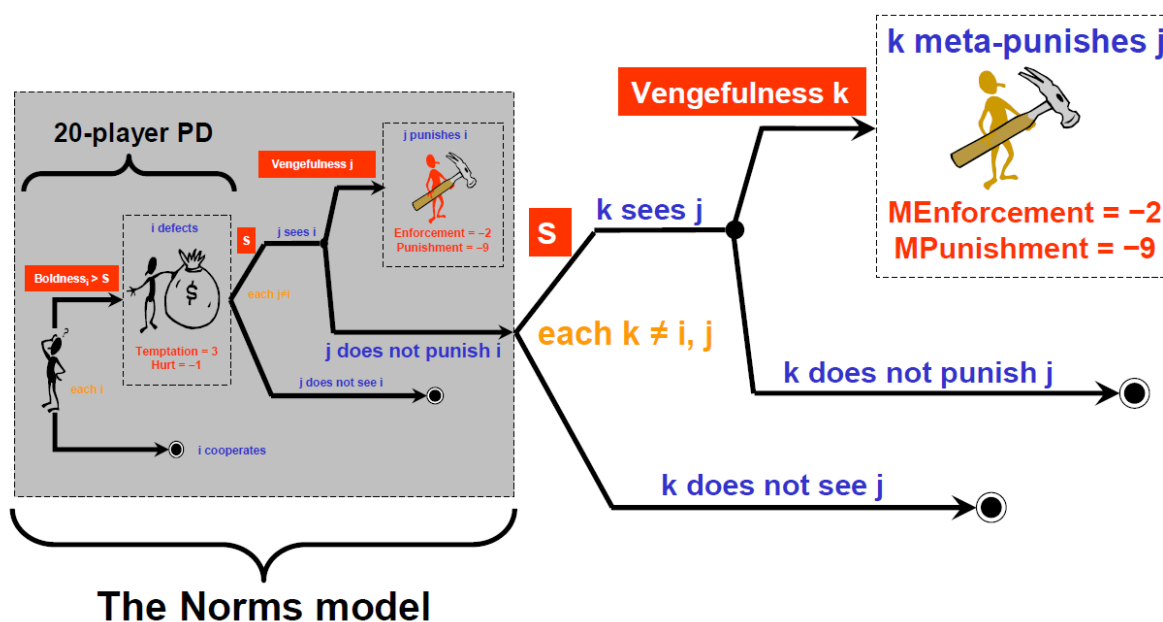


Figura 10. Esquema do modelo do “Jogo de Metanormas” de Axelrod. Figura obtida de Izquierdo e Galán (2005).

Contudo, introduziremos algumas importantes modificações. Em nosso modelo, os agentes interagem em dois espaços distintos, quais sejam, geográfico e social, assim como em Canova (2011). No espaço geográfico estão contidas as dinâmicas do recurso comum,

de movimentação e, principalmente, de observação das ações dos agentes vizinhos. No espaço social está contida a dinâmica de escolha de pares e de evolução da rede social. Existe, ainda, um terceiro espaço, o cultural, que engloba as dinâmicas de formação de cultura e aprendizado por imitação, bem como da influência institucional.

Por se tratar de um jogo aplicado a um recurso de uso comum, os *payoffs* das ações são distintos do modelo original. Nesse caso, desertar significa explorar excessivamente o recurso comum, enquanto cooperar significa explorá-lo em um nível sustentável no longo prazo. Assim, o dano infligido aos agentes pelo comportamento desertor não se materializa imediatamente, como no jogo original, e sim no longo prazo, em função da degradação do recurso. A punição, por outro lado, permanece como uma sanção direta e com valor definido.

Já a observação do comportamento desertor, na forma de superexploração do recurso comum, em nosso modelo, se dá por agentes em uma vizinhança física de raio determinado da célula na qual o agente efetua a deserção. Assim, precisamos alterar a definição da observação conforme abaixo:

$$NDG_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } NDistGeo_{ij} \leq r \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad Obs_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } s_{ij} < S_i \text{ e } NDG_{ij} = 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Em forma matricial, podemos definir:

$$NDG_m = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & NDG_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ NDG_{N1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad Obs_m = (s < S_m) \circ NDG_m$$

Alternativamente, consideraremos a observação através das conexões sociais dos agentes, representada por um sociograma, em conjunto com a observação geográfica aqui definida, equivalente a uma espécie de “controle social”. Nesse caso, temos:

$$Social_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se os agentes } i \text{ e } j \text{ são} \\ & \text{socialmente conectados} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad Obs_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } s_{ij} < S_i \text{ e } NDG_{ij} = 1 \\ & \text{e } Social_{ij} = 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Em ambas as formas de observação, geográfica e social, a probabilidade de o agente ser visto é a mesma, dada pela variável  $S$ , uma variável aleatória uniformemente distribuída no intervalo  $[0,1]$  sorteada a cada *round* para cada agente.

A deserção de 2ª ordem (observar uma deserção e não puni-la) ou metadeserção, por sua vez, requer que o punidor de 2ª ordem, ou metapunidor, também tenha observado a deserção original. Assim, solucionamos a crítica da onisciência dos agentes no modelo original (Mahmoud et al, 2012). Portanto, restringimos a metapunição conforme abaixo:

$$MetaPun_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{se } Enf_k = 1 \text{ e } Obs_{jk} = 1 \text{ e } MetaDef_j = 1 \text{ e } Obs_{ik} = 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Ou seja, a metapunição ocorre apenas se o agente  $k$  for punidor e, tendo observado o agente  $j$  que, por sua vez, é um metadesertor (ao observar e não punir o agente  $i$ ), observou também a deserção original do agente  $i$ .

Nesse caso, não utilizaremos o operador  $rs$  para a obtenção da matriz de metadesertores, de forma que as entradas da matriz representam as metadeserções (nas linhas) em relação às deserções originais (nas colunas), isto é, se  $a_{ij} = 1$ , então o agente  $j$  desertou e o agente  $i$  o observou e não o puniu. A operação é dada por:

$$MDef_m = [(1 - Enf_m) \circ Def_m \circ Obs_m]^T \quad (17)$$

Ao multiplicarmos a matriz acima pela matriz de “observações passíveis de punição” (o produto de Hadamard de  $Enf_m$  e  $Obs_m$ ), obtemos uma nova matriz que representa as “metadeserções passíveis de punição”. Por sua vez, um novo produto de Hadamard dessa última matriz pela matriz de observações produz o resultado desejado:

$$MPun_m = [MDef_m * [Enf_m \circ Obs_m]] \circ Obs_m \quad (18)$$

A partir das matrizes definidas para o modelo, a matriz de *payoffs* relativos às ações de cada agente em um dado *round* podem ser definidas por:

$$Payoff_m = \begin{bmatrix} Def_1 \\ \vdots \\ Def_N \end{bmatrix} T + [cs(Pun_m)]^T E + rs(Pun_m)P + [cs(MPun_m)]^T ME \\ + rs(MPun_m)MP \quad (19)$$



Introduziremos, agora, um breve exemplo para ilustrar a abordagem utilizada até aqui. Considere seis agentes, numerados de 1 a 6, realizando suas ações em um dado *round*, tais que os agentes de 1 a 5 são desertores e os agentes 1 e 5 são punidores. As respectivas matrizes são dadas por:

$$Def_m = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Pun_m = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

A matriz de observações entre os agentes é a seguinte:

$$Obs_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Considerando a matriz acima como matriz de adjacência de um grafo direcionado, obtemos a figura abaixo:

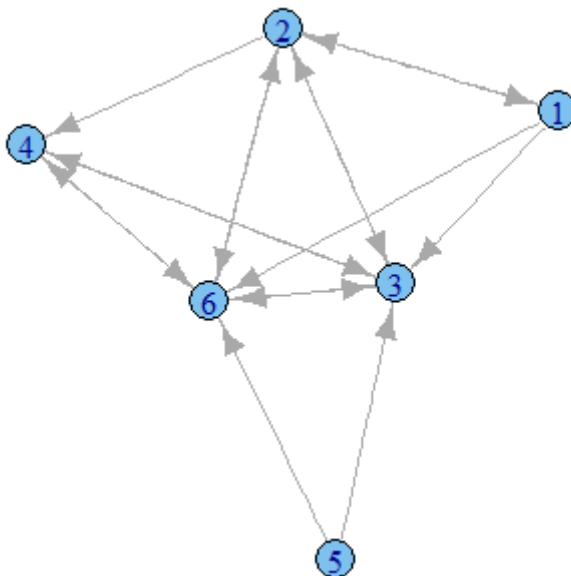


Figura 11. Grafo direcionado desenhado a partir da matriz de adjacência dada pela matriz de observações. Imagem gerada no software R, utilizando o pacote igraph. Elaborado pelo autor.

A matriz de punições de 1ª ordem é dada por:

$$Pun_m = Enf_m \circ Def_m \circ Obs_m = \begin{array}{c} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \hline \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

(20)

Onde a linha após a barra horizontal é o resultado da aplicação do operador  $cs$  sobre a matriz de punições e representa a quantidade de punições imposta por cada agente e a coluna após a barra vertical é o resultado da aplicação do operador  $rs$  sobre a matriz de punições e representa a quantidade de punições sofridas por cada agente.

A matriz de punições de 2ª ordem, ou matriz de metapunições é dada por:

$$MPun_m = [MDef_m * [Enf_m \circ Obs_m]] \circ Obs_m = \begin{array}{c} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ \hline \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} \end{array}$$

(21)

Analogamente, a linha e coluna após as barras representam, respectivamente, a quantidade de metapunições impostas e sofridas por cada agente.

Logo, a matriz de *payoffs* de nosso exemplo é dada por:

$$Payoff_m = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} T + \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} E + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} P + \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} ME + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} MP = \begin{bmatrix} T + 2E + 4ME \\ T + P + MP \\ T + 2P + MP \\ T \\ T + E + ME \\ 3MP \end{bmatrix}$$

(22)

Outra modificação do modelo é a existência de um espaço geográfico de interação entre os agentes que permite que os mesmos se movimentem pelo ambiente em busca de condições favoráveis (Aktipis, 2011), da qual trataremos na Seção 3.4.

A evolução das estratégias, contrariamente ao modelo original, não ocorre através de um mecanismo evolutivo de seleção e mutação, e sim, por um processo de formação cultural de imitação e aprendizado. Os agentes tendem a formar ligações sociais com aqueles agentes possuidores de traços culturais (os atributos de “ousadia” e “vingança”) semelhantes aos seus e a romper ligações sociais com agentes que observam desertar (Hayashi, 1993 *apud* Kollock, 1998), em uma dinâmica de co-evolução das estratégias (dadas pelos atributos) e de suas redes sociais (Santos et al, 2006). Dentro de sua rede social, então, os agentes tendem a ficar mais parecidos, culturalmente, com aqueles agentes já culturalmente próximos (Axelrod, 1997) ou mais bem sucedidos (Macy, 1991).

Consideramos, então, o papel dos valores institucionais (Chang e Evans, 2005) através da definição de diferentes tipos de instituição e da importância relativa dos mesmos no espaço cultural dos agentes.

### 3.4 RECURSO DE USO COMUM

O recurso de uso comum que consideraremos em nosso modelo será representativo de uma floresta madura. Para tal, utilizaremos o modelo de recurso comum proposto por Bravo (2011), com algumas pequenas modificações. Nesse modelo, cada célula do espaço geográfico representa uma área florestal que pode ser explorada pelo agente ali situado. O atributo  $b$  de cada célula, representando o total de biomassa presente, pode assumir valores no intervalo  $[0, b_{max}]$ , onde  $b_{max}$  representa o nível máximo possível de biomassa na célula.

No início de cada simulação, o espaço geográfico é populado com uma representação de uma floresta madura, onde cada célula possui um nível de biomassa sorteado aleatoriamente a partir de uma distribuição uniforme no intervalo  $[\frac{1}{2} b_{max}, b_{max}]$ . Já o crescimento da biomassa, diferentemente do modelo de Bravo (2011), obedecerá à equação logística, isto é:

$$b_{growth} = b_{rate}b\left(1 - \frac{b}{b_{max}}\right)$$

(25)

Onde  $b_{rate}$  é a taxa de crescimento da biomassa.

A equação logística é frequentemente utilizada para modelar o crescimento populacional auto-limitado, onde a taxa de crescimento da população é proporcional tanto à população existente quanto aos recursos disponíveis. O primeiro termo ( $b_{rate}b$ ) determina o crescimento desimpedido da população, dada sua taxa de reprodução ( $b_{rate}$ ). Conforme a população cresce, contudo, o segundo termo ( $b_{rate}b^2/b_{max}$ ) supera o primeiro, uma vez que os indivíduos competem pelos recursos disponíveis, interferindo na reprodução uns dos outros. O efeito combinado de ambos os termos diminui a taxa de crescimento da população como um todo, até que a mesma alcance o equilíbrio e pare de crescer. O parâmetro  $b_{max}$ , que determina o nível de equilíbrio, é chamado capacidade de carregamento.

Se a célula for totalmente desmatada, isto é,  $b = 0$ , a probabilidade de reflorestamento é dada pelo estado das células vizinhas, conforme a equação:

$$p = p^* \frac{N + 1}{k + 1}$$

(26)

Onde  $p^* = 0,05$  é a probabilidade básica de reflorestamento,  $N$  é o número de células vizinhas com  $b > 0$  e  $k$  é a dimensão da vizinhança ( $k = 4$  para a vizinhança de Von Neumann e  $k = 8$  para a de Moore). Essa função reproduz a capacidade natural de recuperação das florestas através da conservação de sementes no solo e da dispersão de sementes por pássaros ou outros animais, dentre outros mecanismos. O novo nível de biomassa inicial de uma célula reflorestada é dado pela média da biomassa presente nas  $k$  células vizinhas.

A cada *round*, cada agente incorre em um custo fixo ( $C$ ). Se a quantidade de biomassa disponível na célula for superior ao custo fixo, os agentes desertores irão extrair uma quantidade excessiva de biomassa ( $T$ ), correspondente à um esforço alto ( $e_H$ ), ou sua totalidade, o que for menor; enquanto os agentes cooperadores irão extrair uma quantidade sustentável de biomassa ( $R$ ), correspondente à um esforço baixo ( $e_L$ ), ou sua totalidade, o que for menor. A quantidade de biomassa extraída é, então, somada ao *payoff* de cada

agente. Porém, se a quantidade de biomassa disponível na célula for inferior ao custo fixo ( $b < C$ ), o agente não recebe *payoff* algum nesse *round* e tenta se movimentar para uma célula vizinha vazia e cuja biomassa seja superior ao custo fixo. Se nenhuma das células vizinhas disponíveis possuir biomassa suficiente, o agente se movimenta aleatoriamente qualquer uma delas.

A penalidade imposta a uma deserção observada também é expressa em termos de quantidade de biomassa ( $P$ ), assim como o custo incorrido pelo agente punidor ( $E$ ). O mesmo ocorre para as penalidades ( $MP$ ) e custos ( $ME$ ) de uma deserção de 2ª ordem.

O *payoff* de um agente em cada *round* é dado, portanto, pela equação abaixo:

$$\begin{aligned}
 Payoff_i = & R + Def_i(T - R) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Pun_{ij}E + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Pun_{ji}P \\
 & + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i, k}}^n (1 - Pun_{jk})MPun_{ij}ME + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i, k}}^n (1 - Pun_{ik})MPun_{ji}MP - C
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Onde  $T$ ,  $R$ ,  $E$ ,  $P$ ,  $ME$  e  $MP$  são os *payoffs* característicos do modelo,  $C$  é o custo fixo,  $n$  é o número total de agentes e

$$Def_i = \begin{cases} 1, & \text{se o agente } i \text{ deserta} \\ 0, & \text{se o agente } i \text{ coopera} \end{cases} \quad Pun_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o agente } i \text{ pune o agente } j \\ 0, & \text{se o agente } i \text{ não pune o agente } j \end{cases}$$

$$MPun_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o agente } i \text{ metapune o agente } j \\ 0, & \text{se o agente } i \text{ não metapune o agente } j \end{cases}$$

Além da movimentação em busca de células com maiores quantidades de biomassa, os agentes (cooperadores) podem se movimentar em busca de condições favoráveis, se afastando da vizinhança de agentes desertores (Aktipis, 2011). Assim, caso um agente cooperador ( $C$ ) observe um ou mais agentes desertores ( $D_1, D_2, \dots$ ) em sua vizinhança, o agente cooperador tentará se movimentar com probabilidade  $m$  para uma célula vizinha disponível aleatória de forma a aumentar sua distância geográfica normalizada média dos agentes desertores. A probabilidade  $m$  é diretamente proporcional à quantidade de células vizinhas ocupadas por agentes desertores em relação à dimensão da vizinhança, isto é:

$$m = m^* \frac{N_D}{k} \quad (28)$$

Onde  $m^* = 0,05$  é a probabilidade básica de movimentação,  $N_D$  é o número de células vizinhas com agentes desertores observados e  $k$  é a dimensão da vizinhança.

As figuras abaixo ilustram os possíveis movimentos de C em relação à D nas vizinhanças de Von Neumann e de Moore, e o efeito da presença de mais de um agente desertor na vizinhança.

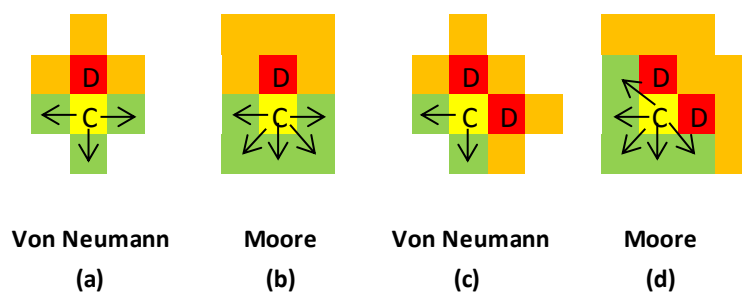


Figura 12. Possíveis movimentos do agente cooperador C na presença de um (a e b) ou dois (c e d) agentes desertores nas vizinhanças de Von Neumann (a e c) e de Moore (b e d). As células em verde representam os possíveis destinos do agente C. As células em laranja representam a vizinhança do(s) agente(s) desertore(s), excluídas aquelas nas quais a distância entre C e D aumenta. Elaborado pelo autor.

Temos, portanto, dois mecanismos de movimento geográfico em ação:

- i) movimento na direção de células com mais biomassa e;
- ii) movimento na direção oposta de células onde se situam agentes desertores.

### 3.5 ESPAÇO CULTURAL

O espaço cultural do modelo é caracterizado por um plano formado pelas combinações possíveis dos atributos “ousadia” e “vingança”. Considerando que ambos os atributos assumem apenas valores discretos no intervalo [0,7], o espaço cultural é um *grid* quadrado de lado igual a sete.

A distância cultural entre dois agentes  $i$  e  $j$  é definida como a distância euclidiana entre eles no plano do espaço cultural, isto é:

$$DistCult_{ij} = \sqrt{(b_i - b_j)^2 + (v_i - v_j)^2}$$
(29)

A distância cultural normalizada para a unidade é dada por:

$$NDistCult_{ij} = \frac{DistCult_{ij}}{7\sqrt{2}}$$
(30)

A dinâmica do aprendizado e disseminação da cultura ocorre através da movimentação dos agentes no espaço cultural. Esse processo é composto de duas etapas distintas: a seleção de um agente passivo e a chance de imitação (rejeição), correspondente à chance de se movimentar no sentido de diminuir (aumentar) a distância cultural para o agente passivo.

A probabilidade de seleção de um agente passivo como um “modelo cultural”, a ser seguido ou rejeitado, pelo outro agente é uma função da visibilidade que o primeiro possui em relação ao último. Definimos a visibilidade como diretamente proporcional a diferença de *payoffs* entre os agentes e como inversamente proporcional à distância geográfica entre eles. A lógica por trás dessa definição é a de que um agente é atraído (repelido) por outros agentes mais (menos) bem sucedidos que ele e, quanto mais próximo (distante) geograficamente, tanto maior (menor) a atração ou repulsão. Logo, a função de visibilidade do agente B para o agente A é dada por:

$$Vis_{AB} = \frac{P_B - P_A}{NDistGeo_{AB}}$$
(31)

Onde  $P_A$  e  $P_B$  são os *payoffs* dos agentes A e B, respectivamente, e  $NDistGeo_{AB}$  é a distância geográfica normalizada entre eles. Assim como ocorre na interação entre partículas elétricas, existem forças de atração e repulsão entre os agentes. Logo, a função de visibilidade assume valores positivos e negativos para agentes considerados “atrativos” e “repulsivos”, respectivamente. Contudo, diferentemente da interação entre partículas

elétricas, onde as forças de atração e repulsão se combinam em uma força resultante, em nosso modelo, os valores são interpretados como probabilidade de seleção.

Assim, dado um agente qualquer, denominado ativo, um agente passivo atrativo (repulsivo) é selecionado, dentro do conjunto de agentes que são vizinhos geográficos ou socialmente conectados ao agente ativo, com uma probabilidade proporcional ao peso relativo de sua visibilidade positiva (negativa) em relação à soma total das visibilidades positivas (negativas) desse conjunto de agentes. Introduzimos, adicionalmente, uma pequena chance de o agente ser erroneamente atraído (repelido) por um agente repulsivo (atrativo). Nesse caso, um agente é selecionado aleatoriamente, dentre aqueles cuja visibilidade possui o sinal invertido ao desejado, para ser o modelo.

Seja  $i$  um agente ativo e  $n$  a quantidade total de agentes, a probabilidade de um agente  $j$  qualquer ser selecionado como agente passivo atrativo é dada por:

$$Prob(j) = \begin{cases} \frac{(1 - \omega)Vis_{ij} \max\{1, Social_{ij} + Geo_{ij}\}}{\sum_{k=1}^n Vis_{ik} (Vis_{ik} > 0) \max\{1, Social_{ik} + Geo_{ik}\}}, & \text{se } Vis_{ij} > 0 \\ \frac{\omega}{\sum_{k=1}^n (Vis_{ik} < 0) \max\{1, Social_{ik} + Geo_{ik}\}}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (32)$$

Onde  $\omega$  é probabilidade de seleção errônea,  $Vis_{ij}$  é a visibilidade do agente  $j$  em relação ao agente  $i$  e

$$Social_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se os agentes } i \text{ e } j \text{ são socialmente conectados} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$Geo_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } NDistGeo_{ij} \leq r \quad \text{onde } r \text{ é o raio da vizinhança geográfica} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Analogamente, a probabilidade de seleção de um agente passivo repulsivo é obtida invertendo-se as desigualdades da Fórmula 32.

Selecionado um agente passivo  $j$  atrativo (repulsivo), resta determinar a probabilidade de o agente ativo alterar seus atributos no sentido de diminuir (aumentar) a distância cultural entre eles. Assim, consideraremos que essa probabilidade é uma função decrescente (crescente) da distância cultural normalizada entre eles. Dessa forma, consideramos dois efeitos em ação: a identidade de grupo e a disseminação da cultura.



Gino, Ayal e Ariely (2009) demonstraram que indivíduos imitam outros indivíduos que consideram seus pares, ainda que em atitudes desonestas; enquanto fazem questão de se distinguir daqueles que consideram “rivais”, quando esses praticam desonestidade. Já Axelrod (1997) propôs que agentes culturalmente próximos tendem a interagir mais entre si e a se tornar ainda mais próximos, em um círculo virtuoso. Logo, agentes mais bem sucedidos são imitados (no sentido de diminuição da distância cultural) mais frequentemente se culturalmente próximos e agentes menos bem sucedidos são rejeitados (no sentido de aumento da distância cultural) mais frequentemente se culturalmente distantes.

Uma função frequentemente utilizada para modelar o aprendizado social é a função sigmoide análoga à distribuição de Fermi-Dirac<sup>6</sup> dada por:

$$\frac{1}{1 + \exp(-\beta(P_j - P_i))} \quad (33)$$

Onde  $\beta \geq 0$  é a força da imitação (equivalente ao inverso da temperatura na física estatística), indicando quão baseada na comparação de *payoffs* ( $P_j - P_i$ ) é a decisão do agente. Para  $\beta \rightarrow 0$  (ou para  $P_j = P_i$ ), a chance de imitação é puramente aleatória. Para valores pequenos de  $p$ , a imitação é fraca, isto é, agentes bem sucedidos são imitados com um pouco mais de frequência. Para  $\beta \rightarrow \infty$ , imitação forte, um agente mais bem sucedido é sempre imitado e um menos bem sucedido, nunca (Sigmund et al, 2010).

Em nosso modelo, contudo, a decisão de imitação (rejeição) é baseada na distância cultural entre os agentes, e não em sua comparação de *payoffs*. Logo, a função que descreve a probabilidade de imitação (rejeição) é dada por:

$$\frac{1}{1 + \exp(\beta(NDisCult_{ij} - 0,5))} \quad (34)$$

Onde  $|\beta|$  é a força da dinâmica e valores positivos e negativos de  $\beta$  correspondem, respectivamente, a dinâmicas de imitação e de rejeição.

---

<sup>6</sup> A estatística de Fermi-Dirac é uma parte do campo da física estatística e utiliza princípios de mecânica quântica. É uma estatística quântica que mede que rege as partículas de *spin* semi-inteiro, os férmions.

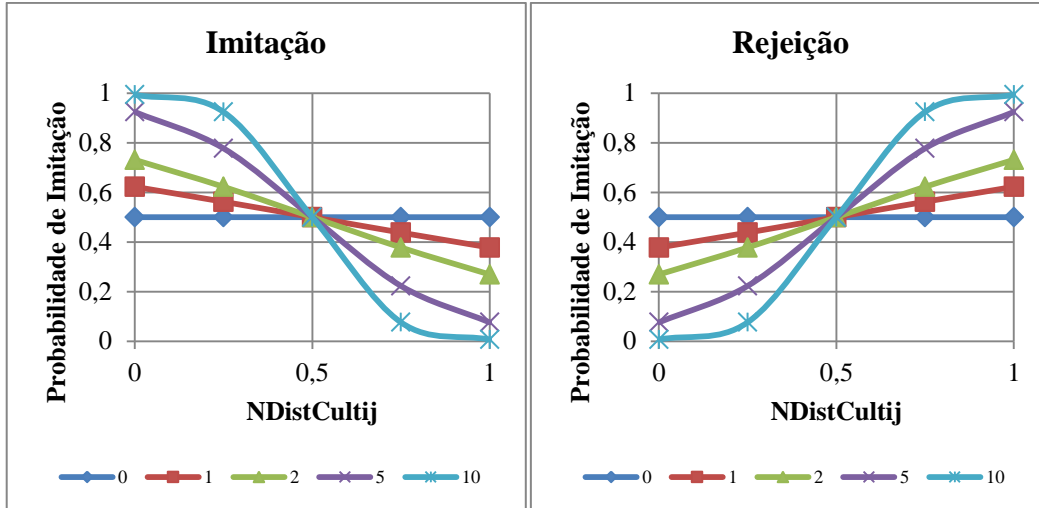


Figura 13. Probabilidades de imitação e rejeição dadas pela função sigmoide para valores de força de imitação ( $\beta$ ) entre 0 e 10. Quando  $\beta = 0$ , a probabilidade de imitação ou rejeição é de 0,5, independentemente da distância cultural normalizada entre os agentes. Elaborado pelo autor.

A dinâmica da movimentação dos agentes no espaço cultural, ou seja, a transmissão cultural, assim como em Bowles (2004), se dá através de uma combinação dos mecanismos de melhor resposta e de conformismo. Um agente “ousado” em uma vizinhança de agentes “vingativos”, e que foi severamente punido, irá alterar seus traços culturais no sentido de diminuir as punições sofridas e aumentar seu *payoff* (melhor resposta), a partir dos traços disponíveis em sua vizinhança (conformismo).

Então, uma vez que o agente ativo decida reduzir sua distância cultural em relação ao agente passivo atrativo, esse movimento ocorre no sentido de reduzir a maior distância entre os valores dos atributos dos agentes, conforme as equações abaixo:

$$\Delta b_i = \begin{cases} \frac{b_j - b_i}{|b_j - b_i|}, & \text{se } |b_j - b_i| \geq |v_j - v_i| \\ 0, & \text{se } |b_j - b_i| < |v_j - v_i| \end{cases}$$

$$\Delta v_i = \begin{cases} \frac{v_j - v_i}{|v_j - v_i|}, & \text{se } |v_j - v_i| \geq |b_j - b_i| \\ 0, & \text{se } |v_j - v_i| < |b_j - b_i| \end{cases}$$

$$m_i = (\Delta b_i, \Delta v_i)$$

(35)

Onde  $(b_i, v_i)$  e  $(b_j, v_j)$  são os atributos dos agentes e  $m_i$  é o vetor de movimento do agente  $i$  no espaço cultural. Na Figura 14,  $m_A$  e  $m_C$  representam possíveis vetores de movimento do agente B na direção dos agentes A e C, respectivamente.

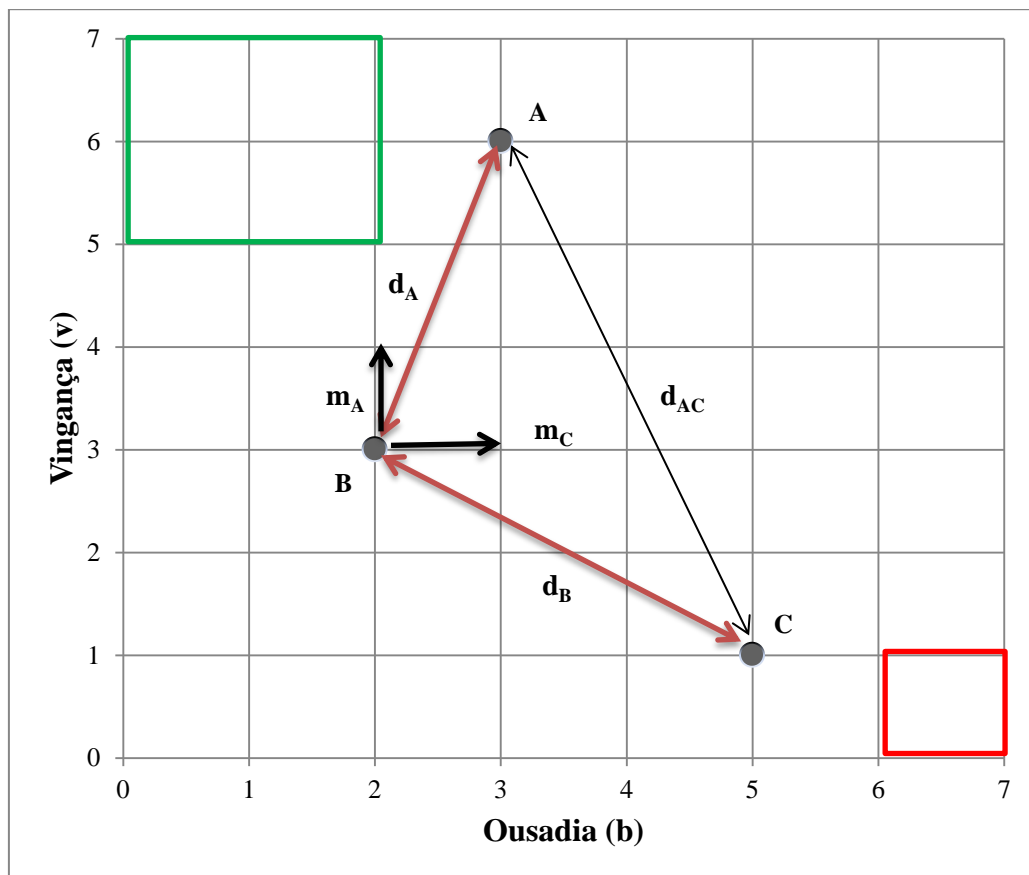


Figura 14. Espaço cultural representado pelos atributos dos agentes. A área do quadrado verde representa a área do espaço cultural onde se considera a norma estabelecida. Da mesma forma, a área vermelha representa o colapso da norma. Três agentes (A, B e C) são representados no espaço cultural e as distâncias entre eles são indicadas por  $d_{AB}$ ,  $d_{BC}$  e  $d_{AC}$ . As duas primeiras estão realçadas, indicando que os agentes são, também, vizinhos geográficos ou socialmente conectados. Os vetores  $m_A$  e  $m_C$  representam as possíveis movimentações do agente B no espaço cultural, em direção aos agentes A e C, respectivamente. Elaborado pelo autor.

Analogamente, as equações de movimento de aumento da distância cultural em relação a um agente passivo repulsivo são obtidas invertendo-se todos os termos de índices  $i$  e  $j$ .

Incluímos, ainda, a possibilidade de um movimento aleatório autônomo dos agentes no espaço cultural, de forma a introduzir uma variabilidade exógena aos atributos culturais (equivalente a uma inovação comportamental), de forma análoga à taxa de mutação do modelo original proposto por Axelrod (1986). Assim, com probabilidades  $x_1^*$  e  $x_2^*$ , idênticas entre si, ocorrem choques paralelos nos atributos “b” e “v”, respectivamente, dos

agentes, onde cada agente se movimentará uma unidade, em sentido aleatório, nos eixos do espaço cultural.

Consideraremos, então, o papel de uma instituição no espaço cultural dos agentes. Estamos interessados em determinar a relevância de diferentes tipos de instituições como instrumentos viabilizadores do estabelecimento de uma norma social entre os agentes.

Existe uma forte relação entre as crenças e o arcabouço institucional que as pessoas utilizam para coordenar seus comportamentos. Crenças e outros mecanismos informais influenciam o comportamento humano tanto diretamente, moldando a percepção de mundo e das ações apropriadas em uma dada situação; quanto indiretamente, afetando o desenvolvimento de uma estrutura institucional (North, 2005).

Em nosso modelo, uma instituição é definida como um agente diferenciado de coordenadas  $(b_{inst}, v_{inst})$  no espaço cultural. Assim, adotamos uma visão “culturalista”, onde uma instituição pode ser vista como um conjunto de valores ou uma visão de mundo (Chang e Evans, 2005).

Uma vez que a instituição não possui *payoffs*, definimos como a força (peso) da instituição  $(w_{inst})$  a probabilidade máxima em que o agente será atraído em direção a ela no espaço cultural e, como alcance da instituição  $(r_{inst})$ , a razão de decaimento de sua força em função do aumento da distância cultural normalizada entre a instituição e o agente. Assim, a probabilidade efetiva que um agente  $i$  seja atraído em direção à instituição vigente é dado por:

$$Prob(inst) = w_{inst} - r_{inst}NDistCult_i inst \quad (36)$$

Então, considerando a existência de uma dada instituição  $(b_{inst}, v_{inst})$  de parâmetros  $w_{inst}$  e  $r_{inst}$ , modificamos a Fórmula 32 e definimos a nova probabilidade de um agente  $i$  ser atraído por outro agente  $j$  como:

$Prob(j)$

$$= \begin{cases} \frac{(1 - w_{inst} + r_{inst}NDistCult_{i inst})(1 - \omega)Vis_{ij}max\{1, Social_{ij} + Geo_{ij}\}}{\sum_{k=1}^n Vis_{ik} (Vis_{ik} > 0)max\{1, Social_{ik} + Geo_{ik}\}}, & \text{se } Vis_{ij} > 0 \\ \frac{(1 - w_{inst} + r_{inst}NDistCult_{i inst})\omega}{\sum_{k=1}^n (Vis_{ik} < 0)max\{1, Social_{ik} + Geo_{ik}\}}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (37)$$

Dessa forma, ajustamos a probabilidade de seleção do agente  $j$  como agente atrativo ou repulsivo do agente  $i$ , descontando a probabilidade desse último ser atraído pela instituição, dada a distância cultural normalizada entre eles.

A possibilidade de imitação dos valores institucionais é compatível com a modelagem hierárquica da população e a seleção multi-nível propostas por Bowles (2004), onde o processo de transmissão cultural (dinâmica de replicação) pode ocorrer simultaneamente em mais de um nível – não apenas traços individuais podem ser replicados, mas também instituições.

Então, uma vez estabelecido que a instituição seja o agente passivo atrativo, resta determinar se o agente ativo irá, de fato, mover-se no sentido de reduzir a sua distância cultural em relação à ela. Mais uma vez, a probabilidade de imitação é dada pela Equação 34, onde o parâmetro  $\beta$  indica a intensidade desse processo. Para  $\beta = 0$ , a probabilidade de imitação é puramente aleatória, isto é, os agentes são indiferentes em relação aos valores institucionais. Valores crescentes de  $\beta$ , contudo, indicam agentes viesados (ou com “opiniões”) em relação aos valores institucionais.

Dessa forma, o movimento dos agentes dentro do espaço cultural torna-se compatível com o definido por Chang e Evans (2005), onde agentes que se encontram sob um dado arranjo institucional passam a internalizar os valores contidos nesse e, como resultado, mudam seu comportamento.

Definiremos, agora, a natureza da origem da instituição. Uma instituição pode ser de origem exógena, isto é, arbitrada *a priori* de forma independente das características ou atributos dos agentes envolvidos; ou de origem endógena, definida a partir dos atributos dos agentes que estão sob sua influência, em um processo de causação de mão-dupla. Assim, instituições exógenas seriam equivalentes a formas de governo autocráticas, onde a

determinação dos valores institucionais é arbitrária e impositiva. Analogamente, instituições endógenas seriam equivalentes a formas de governo democráticas, onde os valores institucionais são representativos daqueles dos agentes constituintes.

Neto (2011) apresenta a classificação de formas de governo de Hans Kelsen em termos de democracia e autocracia. A diferença fundamental entre elas reside na ideia de liberdade política. Enquanto a primeira envolve cidadãos livres, politicamente, que participam do estabelecimento da ordem jurídica vigente e concordam com a mesma de forma natural e consensual; na última, os indivíduos não tem essa liberdade de participação e estão subjugados às deliberações do governo e dos governantes, devendo obedecer à revelia de sua concordância.

A monocracia, onde um só indivíduo ou órgão assume poderes amplos e absolutos, é uma forma de governo onde não há reconhecimento ou tolerância à oposição, além de ser orientado para a reorganização total da sociedade em nome de uma ideologia, inclusive com o uso da força. Pode ser dividida em dois tipos: autoritária e popular. Na primeira, o governo é exercido por um indivíduo que conquistou o poder mediante golpe de Estado ou revolução. Na última, a totalidade da força política está sustentada em um único partido e toda oposição pode ser identificada como uma traição aos interesses do povo (Neto, 2011). Tais regimes podem também ser classificados como totalitários, isto é, não permitem a pluralidade de ideias.

Em nosso modelo, o parâmetro  $r_{inst}$  funciona como indicativo do nível de pluralidade: quanto maior seu valor, mais dispersa é a força relativa da instituição entre os agentes. No limite, quando os parâmetros  $w_{inst}$  e  $r_{inst}$  possuem o mesmo valor, aqueles agentes cuja distância cultural normalizada da instituição é máxima agem de forma independente dos valores institucionais. Por outro lado, quando  $r_{inst} = 0$ , todos agentes são influenciados em um mesmo nível ( $w_{inst}$ ) pela instituição.

Assim, diferentes combinações dos parâmetros  $w_{inst}$  e  $r_{inst}$ , juntamente com a natureza da origem da instituição (exógena ou endógena), nos permitem modelar perfis institucionais variados. A tabela abaixo traça um paralelo entre esses perfis institucionais e as formas de governo como definidas por Neto (2011):

**Tabela 3. Perfis institucionais**

<b>Origem</b>	<b>Alcance</b>	$w_{inst}$	$r_{inst}$	<b>Descrição</b>
Autocracia (Exógena)	Totalitário	1	0	Totalitarismo pleno
		1	Baixo	Totalitarismo
	Plural	Alto	1	Autoritarismo com pluralismo pleno
		Alto	<1	Autoritarismo com pluralismo
		Alto	0	Autoritarismo sem pluralismo
Democracia (Endógena)	Totalitário	1	0	Democracia totalitária plena
		1	Baixo	Democracia totalitária
	Plural	<1	1	Democracia com pluralismo pleno
				$w_{inst}$ alto $\rightarrow$ democracia forte
				$w_{inst}$ baixo $\rightarrow$ democracia fraca
		<1	<1	Democracia com pluralismo
	<1	0	Democracia sem pluralismo	
Inexistente		0	0	Anarquia

Elaborado pelo autor

Em nosso modelo, portanto, uma instituição autocrática (exógena) é definida pelo arbitramento de um par de coordenadas ( $b_{inst}$ ,  $v_{inst}$ ) no espaço cultural, que se mantêm constantes ao longo do tempo. Já uma instituição democrática (endógena) é uma instituição mutável ao longo do tempo e definida por uma regra de votação baseada nos atributos dos agentes. Dentre possíveis regras de votação, temos:

- i) maioria simples (que podemos interpretar como o valor mediano de cada atributo) ou;
- ii) maioria qualificada (que podemos interpretar como o valor do 67º percentil de cada atributo)

Quanto à mutabilidade da instituição democrática, a mesma pode ocorrer periodicamente ou a cada vez que os agentes estejam “insatisfeitos” com o estado corrente. Considerando que os agentes em nosso modelo são desprovidos de memória, adotaremos o critério da periodicidade nesse contexto.

Temos, portanto, os seguintes mecanismos em ação no espaço cultural:

- i) atração/repulsão entre agentes, onde aqueles mais bem(mal)-sucedidos são mais atrativos (repulsivos) e imitados (rejeitados) de acordo com a semelhança cultural;
- ii) atração institucional, onde as instituições têm um peso relativo nas decisões de imitação dos agentes, também de acordo com a semelhança cultural e;

- iii) mudança institucional, onde instituições endógenas são modificadas periodicamente para refletir os atributos dos agentes.

### 3.6 ESPAÇO SOCIAL

O espaço social do modelo é um segundo plano de interação que se superpõe àquele do espaço geográfico e é caracterizado pelo sociograma dos agentes, isto é, pela matriz de adjacência de um grafo direcionado representativo desse espaço, onde cada agente é um vértice e cada conexão social é constituída de dois arcos do grafo, de sentidos opostos e ligando os mesmos dois vértices.

Cada arco recebe um valor correspondente ao grau de satisfação atribuído pelo agente a sua interação com o outro. Uma vez que as relações não são necessariamente simétricas, os dois arcos que ligam dois agentes socialmente conectados podem possuir valores distintos entre si. O conjunto de valores possíveis é representado pelo conjunto  $\{-2, -1, 0, 1\}$  e o significado de cada elemento do conjunto é, respectivamente, “muito insatisfeito”, “insatisfeito”, “satisfeito” e “muito satisfeito”.

Em Santos et al (2006), um agente A é dito satisfeito em sua interação social com o agente B se o agente B for um cooperador e insatisfeito caso contrário. Entretanto, em nosso modelo consideramos mais níveis de satisfação dos agentes de acordo com sua própria estratégia e a do outro agente com o qual o primeiro se relaciona, desde que observada. Assim, a “matriz de satisfação”, análoga a uma matriz de *payoffs*, seria dada por:

**Tabela 4. Matriz de satisfação de uma relação social**

			Agente B			
			Cooperar		Desertar	
Agente A	Cooperar	Obs.B	Obs.A	Não Obs. A	Obs.A	Não Obs. A
		Não Obs. B	0,0	0,0	-2,1	-2,0
	Desertar	Obs.B	0,0	0,0	0,1	0,0
		Não Obs. B	1,-2	1,0	-1,-1	-1,0
			0,-2	0,0	0,-1	0,0

Elaborado pelo autor

Assim, um agente que não observa o comportamento do outro estará sempre “satisfeito” em sua relação social, uma vez que não dispõe de informação suficiente que o



motive a alterar seu relacionamento com o outro agente. Entretanto, uma vez que o agente seja capaz de observar a ação tomada pelo outro, ele estará “satisfeito” apenas se ambos forem cooperadores.

No caso de um agente cooperador observar a deserção do outro agente, o primeiro estará “muito insatisfeito”, visto que sua cooperação não foi correspondida, enquanto o último estará “muito satisfeito”, dado que seu comportamento desertor resultou em benefício próprio à custa do agente cooperador. Contudo, se ambos agentes forem desertores, ambos estarão “insatisfeitos”, uma vez que não tiveram oportunidade de desertar contra um agente cooperador.

Já a dinâmica do espaço social é caracterizada pela destruição e criação de conexões sociais, isto é, pela evolução da topologia da rede social, em função do grau de satisfação dos agentes em suas relações sociais. A criação de novas conexões sociais também pode ser dar através do contato entre os agentes no espaço geográfico ou através do princípio de “fechamento de tríades”, que serão detalhados mais adiante.

Em Santos et al (2006), um agente insatisfeito A desfaz sua conexão com o outro agente B com uma probabilidade  $p$  dada por uma função sigmoide análoga a anteriormente usada:

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-\beta[\pi(A) - \pi(B)])}$$
(38)

Onde  $\beta$  controla a intensidade da seleção e  $\pi(A)$  e  $\pi(B)$  são os *payoffs* de A e B, respectivamente. Se a conexão é desfeita, A estabelece uma nova conexão com um amigo aleatório de B. A intuição por trás dessa mecânica é a seguinte: agentes simples, sendo indivíduos racionais com informação limitada, tendem a interagir com agentes socialmente próximos. Assim, é mais provável que o agente A encontre um dos amigos de B e estabeleça uma relação com ele. Além disso, escolher o amigo de um parceiro inconveniente pode ser uma boa escolha, uma vez que esse parceiro também tenta estabelecer conexões com cooperadores, tornando mais provável que a nova conexão seja com outro cooperador (Santos et al, 2006).

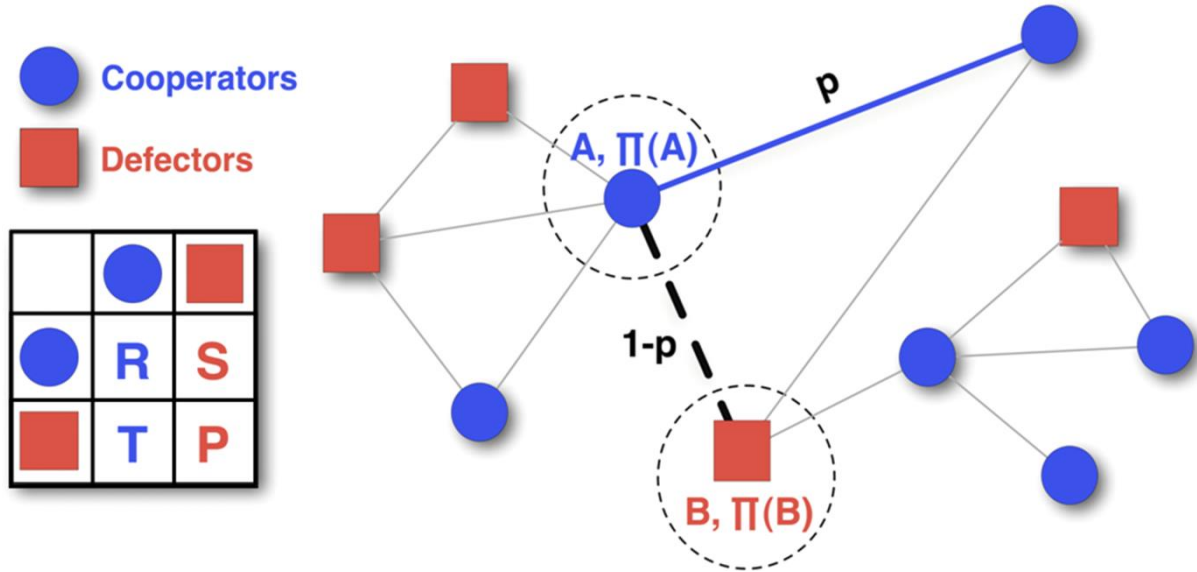


Figura 15. Cooperadores e desertores interagem através das arestas de um grafo. B (A) está satisfeito (insatisfeito), uma vez que A (B) é um cooperador (desertor). Portanto, A quer alterar sua conexão enquanto B, não. A ação a ser tomada é contingente nos payoffs  $\pi(A)$  e  $\pi(B)$  de A e B, respectivamente. Com probabilidade  $p = [1 + \exp(-\beta[\pi(A) - \pi(B)])]^{-1}$  (onde  $\beta=0,005$ ), A redireciona sua conexão para um vizinho aleatório de B. Outras possibilidades: quando A e B estão satisfeitos, nada acontece; quando A e B estão insatisfeitos, o redirecionamento acontece de tal forma que A permanece conectado com probabilidade  $p$  e B permanece conectado com probabilidade  $1-p$ . Figura obtida de Santos et al (2006).

Em nosso modelo, contudo, substituímos os *payoffs* pelos valores da matriz de satisfação, para determinação da probabilidade de desfazimento de uma conexão.

Além disso, no estabelecimento de uma nova conexão, a probabilidade de escolha de um amigo  $u$  de B não é aleatória e sim proporcional ao peso relativo do grau de cada vértice em relação à soma total dos graus de todos vértices conectados a B, ou seja:

$$P(u \in N(B)) = r^* \frac{\delta(u)}{\sum_{w \in N(B)} \delta(w)} \quad (39)$$

Onde  $r^*$  é a probabilidade básica de reconexão,  $N(B)$  é o conjunto dos vértices conectados a B e  $\delta(u)$  é o grau do vértice  $u$ . Essa probabilidade segue a lógica das redes livres de escala de Barabási e Albert (2002), onde novas conexões são feitas baseadas na “ligação preferencial” (*preferential attachment*) aos vértices de maior grau.

Por sua vez, a probabilidade de efetivamente criar uma nova conexão com o vizinho selecionado é dada por uma função sigmoide da distância cultural entre eles, assim como a da Fórmula 34, com o parâmetro  $\beta \geq 0$ , correspondente à dinâmica de imitação.

A criação de novas conexões sociais a partir de interações no espaço geográfico ocorre de maneira similar. Primeiramente, definimos a matriz de satisfação de uma vizinhança geográfica, da mesma forma que a matriz de satisfação de uma relação social (Tabela 4). Consideramos, então, o subconjunto dos vizinhos de um agente A com os quais o mesmo se considera “satisfeito” ou “muito satisfeito”. A probabilidade de escolha de um desses vizinhos obedece à lógica da “ligação preferencial” (Fórmula 39), enquanto a probabilidade da criação de uma nova conexão com o vizinho selecionado é dada pela dinâmica de imitação (Fórmula 34).

Por fim, consideramos ainda o mecanismo de “fechamento de tríades”. Segundo esse princípio, se dois vértices B e C tem um amigo A em comum, a criação de uma ligação entre B e C produz uma situação onde todos os três nodos A, B e C estão conectados uns aos outros – formando um triângulo. O termo “fechamento de tríade” vem do fato que a ligação B-C tem o efeito de “fechar” o terceiro lado do triângulo. Esse fenômeno é intuitivo e natural e a prática sugere a razão pela qual ele opera. Uma das razões pelas quais B e C provavelmente se tornarão amigos é porque sua amizade em comum com A provê uma *oportunidade* para que se encontrem. Além disso, o fato de B e C serem amigos A colabora no sentido de *confiança* mútua, ao contrário do que ocorreria se ambos fossem completamente desconhecidos um do outro. Finalmente, existe um *incentivo* para que ambos se tornem amigos: se A é amigo de B e C, mas B e C não são amigos um do outro, seus relacionamentos com A podem ser abalados (Easley e Kleinberg, 2010).

É fácil verificar que o “fechamento de tríade” é uma tentativa de balancear um sociograma onde existem três indivíduos e duas relações positivas e uma negativa (considerando a ausência de uma aresta entre dois vértices – a ausência de amizade entre dois indivíduos – como uma relação negativa). O surgimento do terceiro lado do triângulo torna o sociograma estável.

Assim, a criação de novas conexões a partir desse mecanismo também se dá de forma similar as anteriores. Para um agente A, definimos os candidatos ao “fechamento de tríades” como sendo o conjunto dos amigos dos amigos de B que ainda não são amigos de A. Então, mais uma vez, a probabilidade de escolha de um desses amigos obedece à lógica da “ligação preferencial” (Fórmula 39), enquanto a probabilidade da formação da nova amizade é dada pela dinâmica de imitação (Fórmula 34).

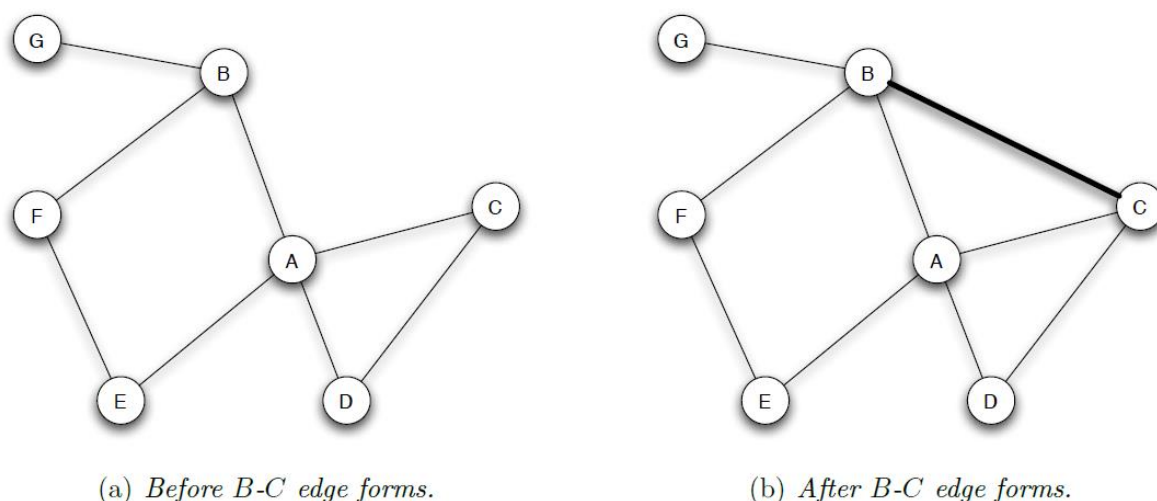


Figura 16. A formação de uma aresta entre B e C ilustra os efeitos do fechamento de tríades, uma vez que ambos têm o vizinho A em comum. Figura obtida de Easley e Kleinberg (2010).

Temos, portanto, diversos mecanismos em ação no espaço social, a saber:

- i) rompimento/substituição de conexões sociais desfavoráveis (via matriz de satisfação de relações sociais), considerando cada par de agentes que possuem uma conexão entre si;
- ii) criação de novas conexões sociais espontâneas (via matriz de satisfação de uma vizinhança geográfica), considerando cada par de agentes que sejam vizinhos geográficos e;
- iii) criação de novas conexões sociais intermediadas (via mecanismo de “fechamento de tríades”), considerando cada par de agentes que possuem uma conexão entre si.

### 3.7 DINÂMICA DO MODELO

A dinâmica do modelo é dada pela integração dos diferentes espaços e respectivos mecanismos em ação em cada um deles. O tempo e o espaço são representados de forma discreta. A cada *round*, os agentes e as células do espaço geográfico executam suas respectivas ações. Os agentes se comportam sincronamente, isto é, suas interações ocorrem simultaneamente.

Assim como no “Jogo de Metanormas” original de Axelrod (1986), em cada *round* os agentes podem desertar, punir, metadesertar e metapunir, auferindo seus respectivos *payoffs* e; uma sequência de quatro *rounds*, onde os *payoffs* são acumulados, constitui uma geração.

Dada a dinâmica do recurso de uso comum presente em nosso modelo, a cada *round*, as locações do espaço geográfico tem seus recursos atualizados através da equação logística e existe ainda a possibilidade de movimento dos agentes nesse espaço, conforme detalhado na Seção 3.4.

No modelo original, a cada geração, os agentes mais “aptos” eram selecionados para se multiplicar, podendo sofrer mutações, e os menos “aptos” eram eliminados. Em nosso modelo, substituímos esse processo evolutivo pelo aprendizado social e pela influência institucional, que ocorrem de acordo com a dinâmica do espaço cultural detalhada na Seção 3.5.

Então, a cada  $W$  gerações, ocorre a evolução da topologia da rede social que interconecta os agentes, conforme a dinâmica do espaço social detalhada na Seção 3.6. A relação entre as frequências de evolução da topologia de rede ( $\tau_a$ ) e das estratégias dos agentes ( $\tau_e$ ), o parâmetro  $W$  ( $\tau_e/\tau_a$ ), foi abordada por Santos et al (2006). Valores crescentes de  $W$  indicam que os indivíduos adaptam suas conexões sociais com mais eficiência, isto é, reagem mais prontamente a conexões adversas. Segundo os autores, para valores suficientemente altos de  $W$ , os resultados da co-evolução da estratégia e da topologia de rede conduzem a um cenário de cooperação plena. Por outro lado, para valores baixos de  $W$ , os agentes cooperadores não possuem chance de sucesso. Logo, existe um  $W_{crítico}$ , crescente em relação ao número total de agentes, a partir do qual a cooperação prevalece, indicando que esse fenômeno depende da capacidade dos indivíduos de ajustarem suas conexões sociais.

Além disso, a cada  $W$  gerações, no caso de uma instituição endógena, os agentes atualizam as características institucionais através de uma votação dada por maioria simples, ou seja, através da mediana dos atributos culturais de todos os agentes.

### 3.8 VARIÁVEIS E PARÂMETROS

As variáveis e os parâmetros utilizados no modelo são resumidos na Tabela 5. As variáveis em negrito são exógenas, definidas de forma independente e irão compor o espaço de parâmetros a ser pesquisado.

**Tabela 5. Resumo das variáveis do modelo, agrupadas por dimensão**

Dimensão	Variável	Valores	Descrição
Espaço Geográfico	$L$	$[2, +\infty)$	Tamanho do lado do toro
	$k$	4, 8	Dimensão da vizinhança (Von Neumann, Moore)
	$r$	$[1,2]$	Raio da vizinhança
Agente	$N$	$[1, L^2]$	Quantidade de agentes
	$B$	$[0,7]$	Nível de ousadia dos agentes
	$V$	$[0,7]$	Nível de vingança dos agentes
	$S$	$[0,1]$	Probabilidade de o agente ser observado em um <i>round</i>
	$s$	$[0,1]$	Probabilidade de observar outro agente em um <i>round</i>
	$p$	$[0,1]$	Probabilidade de punir/metapunir um agente desertor em um <i>round</i>
	$Def$	0, 1	Se o agente deserta no <i>round</i> , $Def = 1$
	$Pun$	0, 1	Se o agente pune no <i>round</i> , $Pun = 1$
	$MDef$	0, 1	Se o agente metadeserta no <i>round</i> , $Def = 1$
	$MPun$	0, 1	Se o agente metapune no <i>round</i> , $Pun = 1$
	$Payoff$	$(-\infty, +\infty)$	$Payoff$ do agente em uma geração
	$\delta$	$[0, N-1]$	Grau (quantidade de conexões sociais) do agente
	$x, y$	$L \times L$	Coordenadas geográficas do agente
Recurso Comum	$b_{max}$	$[0,1]$	Quantidade máxima de biomassa em uma célula
	$b_{rate}$	$[0,1]$	Taxa de crescimento da biomassa
	$p^*$	$[0,1]$	Probabilidade básica de reflorestamento
	$b_{x,y}$	$[0, b_{max}]$	Quantidade de biomassa na coordenada $x, y$
	$x, y$	$L \times L$	Coordenadas geográficas da biomassa
	$m^*$	$[0,1]$	Probabilidade básica de movimento de afastamento
	$C$	$[0, b_{max}]$	Custo fixo do agente
	$R$	$[0, b_{max}]$	Biomassa extraída pelo agente cooperador
	$T$	$[R, b_{max}]$	Biomassa extraída pelo agente desertor
Regras	$E$	$[0, b_{max}]$	Custo do agente que realiza a punição
	$P$	$[0, b_{max}]$	Penalidade do agente que sofre a punição
	$ME$	$[0, b_{max}]$	Custo do agente que realiza a metapunição
	$MP$	$[0, b_{max}]$	Penalidade do agente que sofre a metapunição
	$Obs$	$\{G;S\}$	Observação (G = geográfica, S = geográfica e social)
Espaço Cultural	$\beta_c$	$[0, +\infty)$	Intensidade da imitação/rejeição cultural
	$w_{inst}$	$[0,1]$	Força relativa da instituição
	$r_{inst}$	$[0,1]$	Alcance relativo da instituição
	$O_{inst}$	0, 1	Origem da instituição (0 = exógena, 1 = endógena)
	$B_i$	$[0,7]$	Nível de ousadia da instituição
	$V_i$	$[0,7]$	Nível de vingança da instituição
	$\beta_i$	$[0, +\infty)$	Intensidade da imitação/rejeição da instituição

<b>Dimensão</b>	<b>Variável</b>	<b>Valores</b>	<b>Descrição</b>
Espaço Cultural	$\omega$	[0,1]	Probabilidade de imitação errônea
	$x_1^*$	[0,1]	Probabilidade de movimento autônomo em B
	$x_2^*$	[0,1]	Probabilidade de movimento autônomo em V
Espaço Social	$\beta_s$	[0,+∞)	Intensidade da seleção no rompimento de uma conexão social adversa
	$r^*$	[0,1]	Probabilidade básica de reconexão
	$\beta_g$	[0,+∞)	Intensidade da seleção na criação de uma conexão social com vizinhos geográficos
	$g^*$	[0,1]	Probabilidade básica de nova conexão social com vizinhos geográficos
	$\beta_t$	[0,+∞)	Intensidade da seleção na criação de uma conexão social através do “fechamento de triades”
	$t^*$	[0,1]	Probabilidade básica de nova conexão social através do “fechamento de triades”
Globais	$Q$	[1, +∞)	Total de <i>rounds</i> da simulação
	$\tau_e$	[1, +∞)	Quantidade de <i>rounds</i> por geração (atualização no espaço cultural e de estratégias)
	$\tau_a$	[1, +∞)	Quantidade de <i>rounds</i> para atualização do espaço social e dos atributos de uma instituição endógena

Elaborado pelo autor

**Tabela 6. Valores iniciais dos parâmetros**

<b>Entidade</b>	<b>Variável</b>	<b>Valores Iniciais</b>
Espaço Geográfico	$L$	10
	$k$	8
	$r$	1
Agente	$N$	20;50;80
	$B$	7
	$V$	0
Recurso Comum	$b_{max}$	1
	$b_{rate}$	0,5
	$p^*$	0,05
	$m^*$	0,0
	$C$	0,05
	$R$	0,10
	$T$	0,30
Regras	$E$	0,20
	$P$	0,90
	$ME$	0,20
	$MP$	0,90
	$Obs$	G;S
Espaço Cultural	$\beta_c$	3
	$w_{inst}$	0,0;0,05;0,20;0,50
	$r_{inst}$	0,0;0,03;0,05;0,15;0,18; 0,20;0,45;0,48;0,50
	$O_{inst}$	0;1
	$B_i$	0
	$V_i$	7
	$\beta_i$	0;2
	$\omega$	0,10
	$x_1^*$	0,03
	$x_2^*$	0,03
	Espaço Social	$\beta_s$
$r^*$		0,0
$\beta_g$		3
$g^*$		0,0
$\beta_t$		3
$t^*$		0,0
Globais	$Q$	1.000;10.000
	$\tau_e$	4
	$\tau_a$	16

Elaborado pelo autor

Os parâmetros de maior interesse são os referentes ao espaço cultural, onde é determinado o comportamento dos agentes e onde ocorre a influência institucional.



### 3.9 PROCEDIMENTOS

O processo envolvido em uma simulação consiste na inicialização das variáveis e nas ações realizadas pelos agentes e células do espaço geográfico ao longo dos *rounds*, sendo organizadas e ordenadas da seguinte forma:

1. Inicialização da simulação
  - a. Agentes
    - i. Os atributos  $B$  e  $V$  recebem valores 7 e 0, respectivamente, equivalentes à uma população de desertores;
  - b. Recurso de uso comum
    - i. Todas as  $L^2$  células recebem uma quantidade de biomassa no intervalo  $[\frac{1}{2} b_{max}, b_{max}]$  distribuída uniformemente.
2. Ações realizadas em todos os *rounds*
  - a. Agentes
    - i. As variáveis  $S$ ,  $s$  e  $p$  recebem valores aleatórios distribuídos uniformemente no intervalo  $[0,1]$ ;
    - ii. Os agentes **escolhem seus papéis** em relação ao **recurso de uso comum** (cooperador, desertor) de acordo com as variáveis  $B$  e  $S$ ;
    - iii. Os agentes **incorrem em um custo fixo** ( $C$ );
    - iv. Os agentes **exploram o recurso de uso comum** de acordo com seus papéis, obtendo os respectivos *payoffs* ( $R$  ou  $T$ ), e **se movimentam em caso de escassez**;
    - v. Os agentes **escolhem seus papéis** em relação à **aplicação das normas** (punidor, metadesertor, metapunidor) de acordo com as variáveis  $V$  e  $p$ ;
    - vi. Os agentes **observam uns aos outros** em sua vizinhança (definida por  $k$  e  $r$ ) conforme as variáveis  $S$  e  $s$ ;
    - vii. Os agentes **punem as deserções e são punidos** de acordo com seus papéis, recebendo os respectivos *payoffs* ( $E$ ,  $P$ ,  $ME$ ,  $MP$ );
    - viii. Os agentes **se afastam** de outros agentes desertores probabilisticamente (parâmetro  $m^*$ ).

- b. Recurso de uso comum
    - i. As células **com biomassa** ( $b_{xy} > 0$ ) **crecem** de acordo com a equação logística (parâmetros  $b_{max}$  e  $b_{rate}$ );
    - ii. As células **completamente desmatadas são reflorestadas** probabilisticamente (parâmetros  $p^*$  e  $k$ ).
3. Ações realizadas a cada  $\tau_e$  rounds
- a. Agentes
    - i. Os agentes **imitam ou rejeitam** os atributos culturais ( $B$  e  $V$ ) de **outros agentes** com os quais possuem relação geográfica ou social, de acordo com seus *payoffs* e distâncias geográfica e cultural entre eles e a intensidade do processo ( $\beta_c$ ), se movimentando no espaço cultural;
    - ii. Os agentes **imitam** os atributos culturais ( $B$  e  $V$ ) da **instituição** conforme a força ( $w_{inst}$ ) e o alcance ( $r_{inst}$ ) da instituição;
    - iii. Os agentes sofrem um **choque** aleatório probabilístico (parâmetros  $x_1^*$  e  $x_2^*$ ) em seus atributos culturais ( $B$  e  $V$ ).
4. Ações realizadas a cada  $\tau_a$  rounds
- a. Agentes
    - i. Os agentes **interrompem** suas **conexões sociais** com outros agentes com os quais consideram a conexão insatisfatória, de acordo com a intensidade determinada ( $\beta_s$ ) e **criam** novas **conexões sociais** probabilisticamente (parâmetro  $r^*$ ) de acordo com o mecanismo de **ligação preferencial** (parâmetro  $\delta$ );
    - ii. Os agentes **criam** novas **conexões sociais** probabilisticamente (parâmetro  $g^*$ ) com outros agentes em sua **vizinhança geográfica** com os quais consideram a interação satisfatória, de acordo com a intensidade determinada ( $\beta_g$ ) e o mecanismo de **ligação preferencial** (parâmetro  $\delta$ );
    - iii. Os agentes **criam** novas **conexões sociais** probabilisticamente (parâmetro  $t^*$ ) com outros agentes

através do mecanismo de “**fechamento de tríades**”, de acordo com a intensidade determinada ( $\beta_i$ ) e o mecanismo de **ligação preferencial** (parâmetro  $\delta$ );

- iv. Se a **instituição é endógena**, os agentes **votam** e atualizam a instituição.

### 3.10 IMPLEMENTAÇÃO

O modelo foi implementado nos *softwares* NetLogo e R, desenvolvidos para os propósitos de simulação baseada em agentes e de desenvolvimento de rotinas estatísticas, respectivamente. A integração entre os dois *softwares* foi realizada através da extensão NetLogo-R, que permite ao NetLogo executar *scripts* em R e obter os respectivos resultados.

Assim, a interface do modelo, onde o usuário pode definir os parâmetros da simulação, e onde ocorrem as dinâmicas dos espaços geográfico e de recurso de uso comum, foram implementadas em NetLogo, conforme ilustrado na Figura 17. As demais dinâmicas, dado o uso intensivo de matrizes nas mesmas, foram implementadas em R.

O espaço de parâmetros proporcionado pelo modelo proposto é bastante vasto, de forma que a limitação do poder computacional envolvido na exploração do mesmo no presente trabalho torna necessária sua limitação.

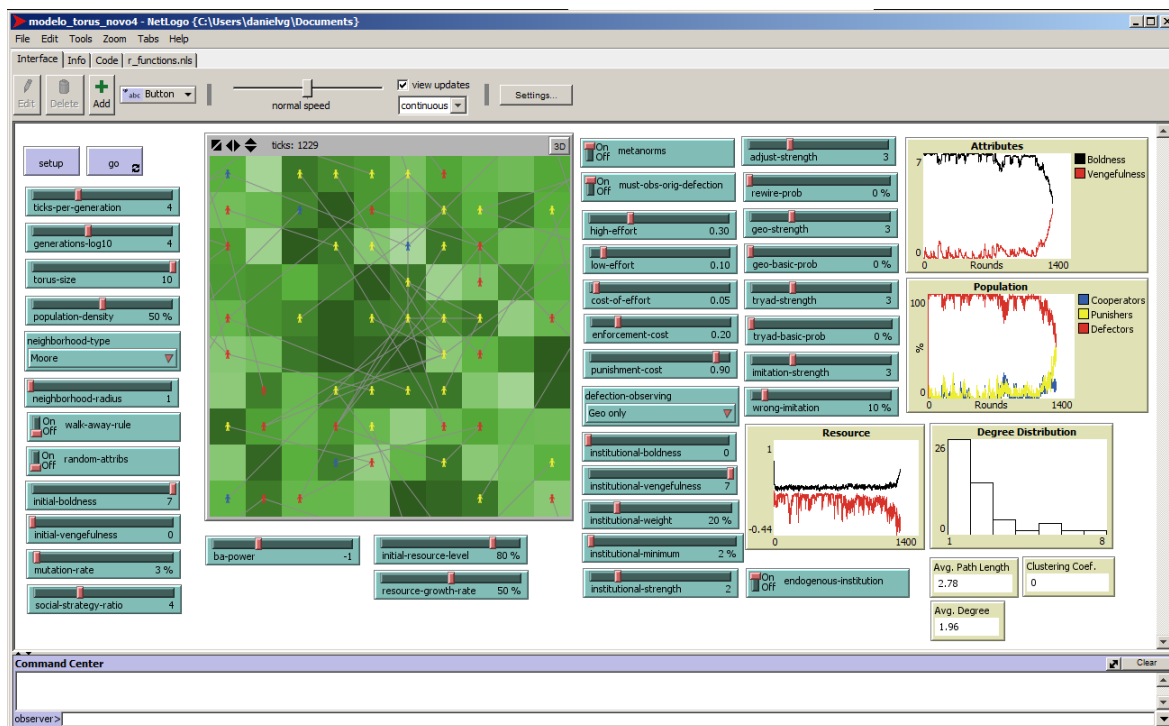


Figura 17. Ilustração da execução do modelo proposto em NetLogo, com os respectivos parâmetros configurados pelo usuário e os espaços geográficos e de recurso comum no quadro principal, onde os agentes cooperadores (azuis), punidores (amarelos) e desertores (vermelhos) interagem e se conectam socialmente uns aos outros (linhas cinzas).

Além disso, ao realizarmos testes preliminares com o modelo proposto, verificamos que a dinâmica do espaço social, particularmente, apresentava comportamento indesejado. Um dos objetivos do modelo era a geração, a partir do zero, da rede social que conecta os agentes. Porém, ao iniciarmos uma simulação, a rede social gerada pelas interações entre os agentes convergia para um grafo completo ou para um grafo completamente desconectado. Dessa forma, decidimos pela determinação de uma rede social gerada aleatoriamente através do algoritmo de Barabási e Albert, isto é, uma rede livre de escala, no início de cada simulação e cujos *links* permanecem inalterados ao longo de toda simulação. O espaço social, portanto, torna-se uma variável exogenamente definida em nossas simulações e as redes geradas possuem as características abaixo:

**Tabela 7. Características das redes sociais geradas**

Densidade Populacional	Grau Médio dos Vértices	Tamanho Médio do Caminho		
		Mínimo	Médio	Máximo
20%	1,90	1,52	1,97	3,20
50%	1,96	1,90	2,45	3,85
80%	1,975	1,98	2,65	3,50

Elaborado pelo autor

Assim, optamos por dar ênfase ao espaço cultural e investigar os aspectos relativos às características das instituições. O espaço a ser investigado, portanto, contempla os seguintes parâmetros:

- *NN* - densidade populacional (número de agentes);
- *WW* - peso (força) da instituição;
- *M* - peso mínimo (dado pela diferença entre força e alcance) da instituição;
- *S* - intensidade da imitação da instituição;
- *O* - Origem da instituição, exógena (*X*) ou endógena (*E*); e
- *D* - Forma de observação da deserção, geográfica (*G*) ou social (*S*).

Esses seis parâmetros, conforme os valores iniciais apresentados na Tabela 6, nos proporcionam um total de 222 combinações distintas a serem exploradas. Designaremos, doravante, cada uma dessas combinações por um código composto a partir dos parâmetros acima e que obedece a seguinte regra de formação:

$$NN.WW.M.S.O.D$$

Podemos notar também que, no caso especial onde *WW*, *M* e *S* são iguais a zero, há a ausência completa de instituição e, sendo assim, o parâmetro *O* torna-se redundante.

Inicialmente, realizamos 10 rodadas de simulações, de 1.000 gerações cada, para cada uma das 222 combinações, perfazendo um total 2,22 milhões de gerações simuladas. Em seguida, selecionamos 78 combinações para as quais executamos uma nova sequência de 10 rodadas de simulações, com 10.000 gerações cada, perfazendo um total de 7,8 milhões de gerações simuladas.

A fim de facilitar a visualização dos resultados, optamos por representá-los graficamente em quatro tipos distintos de gráficos, a saber:

1) Gráfico de Superfície: esse tipo de gráfico consiste em um *grid*, onde cada célula representa uma diferente combinação dos valores constantes nos eixos que, juntos, equivalem a um código no formato *NN.WW.M.S.O.D*; e cuja coloração corresponde à probabilidade de ocorrência do evento representado no gráfico para esse código, variando entre 0% (azul) e 100% (marrom);

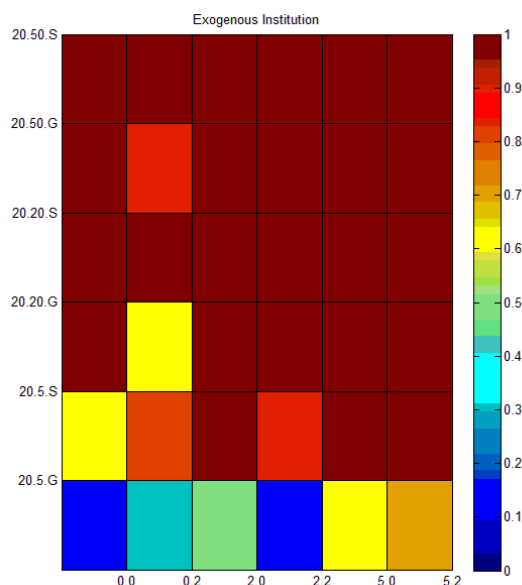


Figura 18. Exemplo de Gráfico de Superfície gerado a partir da proporção de normas estabelecidas ao final da simulação em um contexto de instituições exógenas. O canto inferior esquerdo corresponde ao código 20.5.0.0.E.G, e a coloração azul escura (zero) indica que a norma não foi estabelecida em nenhuma das simulações realizadas com essas características. O canto superior direito, correspondente ao código 20.50.5.2.E.S, por outro lado, apresenta coloração marrom (1), indicando que a norma foi estabelecida em todas simulações desse tipo.

2) Gráfico de Atributos: esse tipo de gráfico consiste em duas linhas contínuas representando os atributos de “ousadia” (preto) e “vingança” (vermelho), que podem assumir valores entre 0 e 7, no eixo vertical, ao longo do tempo, no eixo horizontal;

3) Gráfico de Norma Simples: esse tipo de gráfico é uma simplificação do anterior, ao considerar o estabelecimento (1), indefinição (0) ou colapso (-1) de uma norma a partir dos valores dos atributos de “ousadia” e “vingança”, em conformidade com as regiões do espaço cultural estabelecidas na Figura 14, traçando uma única linha contínua ao longo do tempo, representado no eixo horizontal. São utilizados na composição do próximo tipo de gráfico; e

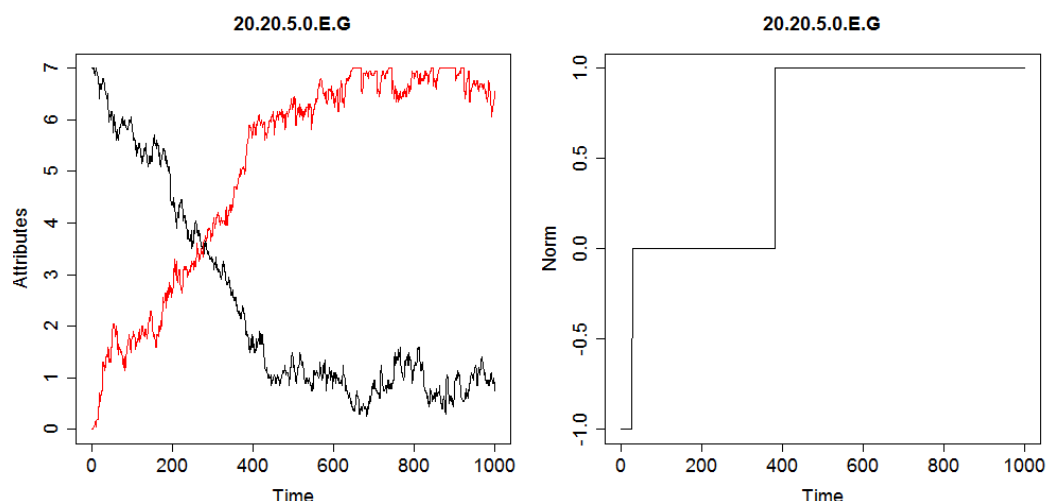


Figura 19. Exemplo de Gráfico de Atributos, à esquerda, e seu correspondente Gráfico de Norma Simples, à direita. Quando a “ousadia” (linha preta) e a “vingança” (linha vermelha) possuem valores nos intervalos [6,7] e [0,1], respectivamente, a norma assume o valor -1. Quando a “ousadia” e a “vingança” se encontram nos intervalos [0,2] e [5,7], respectivamente, a norma assume o valor 1. Em todos demais casos, a norma assume o valor 0. No exemplo, a norma é estabelecida por volta do instante  $t = 400$ .

4) Gráfico de Norma Média: esse tipo de gráfico é obtido pela composição de vários gráficos do tipo anterior onde, a cada intervalo de tempo, o valor a ser representado no eixo vertical é obtido computando-se a média dos valores de todos os gráficos que o compõem. Assim, os valores extremos, -1 e 1, representando o colapso ou estabelecimento de uma norma, só são atingidos quando todos os gráficos componentes apresentam o mesmo comportamento em um dado instante de tempo. Ressaltamos, ainda, que o valor central (0), representando a indefinição quanto ao estabelecimento ou colapso da norma, também pode ser alcançado pelo “cancelamento” entre si de valores extremos opostos dos gráficos componentes. Assim, a indefinição não se dá dentro de uma simulação (como no caso do Gráfico de Norma Simples), mas dentro do conjunto de várias simulações.

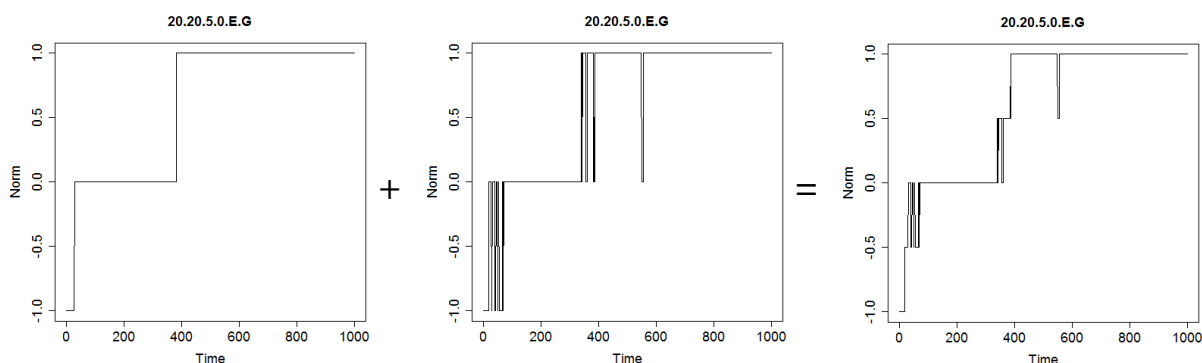


Figura 20. Exemplo de um Gráfico de Norma Média composto a partir de dois Gráficos de Norma Simples, apresentando os valores intermediários (0,5 e -0,5) por curtos intervalos de tempo, quando os gráficos

componentes possuem valores distintos. No exemplo, a norma média é estabelecida definitivamente por volta do instante  $t = 600$ .

Utilizamos os Gráficos de Superfície para evidenciar as diferenças entre as combinações para um dado resultado obtido nas simulações. Os Gráficos de Atributos são utilizados para demonstrar a evolução dos atributos das instituições endógenas ao longo do tempo. E os Gráficos de Norma Média, por sua vez, são utilizados para demonstrar a evolução do estabelecimento ou colapso de uma norma em uma população ao longo do tempo, dado um conjunto de rodadas de simulação que compartilha as mesmas características.

As tabelas apresentam os valores considerados pertinentes para evidenciar o comportamento da norma social ao longo da simulação. Conforme o exemplo apresentado na Tabela 8, as primeiras cinco colunas indicam uma combinação de características dentro de um contexto institucional (exógeno ou endógeno). Então, dentro do grande grupo de “Estatísticas das Rodadas”, as três colunas seguintes, agrupadas sob o título “Norma”, indicam a quantidade de vezes em que a norma foi estabelecida (N), permaneceu indefinida (I) ou colapsou (C). O grupo seguinte, “#ticks Norma” indica as quantidades mínima, média e máxima de *ticks* em que a norma esteve estabelecida durante as simulações.

O grupo “#ticks Prim. Norma” indica as estatísticas para a quantidade de *ticks* decorrida até que a norma fosse estabelecida pela primeira vez. Valores baixos indicam que a norma foi estabelecida rapidamente, enquanto um valor equivalente ao total de gerações de uma simulação indicam que a norma não foi estabelecida durante a simulação.

A coluna seguinte apresenta o percentual de tempo no qual a norma permaneceu estabelecida, uma vez que tenha sido estabelecida pela primeira vez. Valores próximos de 100% indicam uma norma estável ao longo do tempo.

De forma análoga aos outros grupos, o grupo “#ticks Colapsada” apresenta as estatísticas para a quantidade de *ticks* nos quais a norma colapsou durante a simulação e a coluna “% ticks C após prim. I” representa o percentual de tempo em que a norma esteve colapsada após a primeira vez em que a mesma se encontrou indefinida, isto é, o percentual do tempo em que a mesma regrediu ao estado original, uma vez tendo saído dele.



O último grande grupo, “Norma Média”, apresenta os resultados obtidos pelo cálculo da média dos valores obtidos para a norma em cada uma das rodadas de simulação. A primeira coluna, “Final”, representa o valor da média do último *round* de todas rodadas. Um valor igual a 1 indica que todas as rodadas terminaram com a norma estabelecida. O grupo seguinte, “#ticks”, apresenta a quantidade de *ticks* nos quais a norma média esteve estabelecida (N), indefinida (I), colapsada (C) e em que momento foi estabelecida pela primeira vez (Prim).

**Tabela 8. Exemplo de tabela de resultados**

Instituição Exógena																										
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Mín	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas															Norma Média						
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após			# ticks Colapsada			% ticks C após			# ticks			
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim. N	Min.	Médio	Máx.	prim. I	Final	N	I	C	Prim.			
					20	20	0	0	G	10	0	0	192	532	794	191	451	807	97	17	136	294	8	1	188	798
20	20	0	0	S	10	0	0	359	696	852	147	298	621	99	24	114	305	5	1	357	619	24	621			

Elaborado pelo autor

### 3.11 RESULTADOS

Apresentaremos os resultados obtidos para as proporções das rodadas de simulação em que a norma, ao final das mesmas, foi estabelecida (N), permaneceu indefinida (I) ou colapsou (C). Para tal, utilizaremos uma “matriz” de Gráficos de Superfície para cada densidade populacional, onde a primeira e segunda colunas representam, respectivamente, contextos de instituição exógena e endógena, respectivamente. As três linhas, por sua vez, representam o estabelecimento da norma (N), sua indefinição (I) ou seu colapso (C), nessa ordem. Assim, uma mesma coordenada dos três Gráficos de Superfície em uma mesma coluna deve apresentar colorações tais que seus valores correspondentes somem um.

Por exemplo, na Figura 21, que representa a “matriz” de Gráficos de Superfície para a densidade populacional de 20%, a coluna da esquerda indica o contexto de instituições exógenas. A coordenada dada pelo canto inferior direito, correspondente ao código 20.5.5.2.X.G, apresenta, nas três linhas, as colorações amarelo escuro, ciano escuro e azul escuro. Tais colorações correspondem, por sua vez, às frequências de 70%, 30% e 0%, indicando que, para essa combinação de características, a norma foi estabelecida em 70% das rodadas e permaneceu indefinida nos demais 30%.

Assim, apresentamos três “matrizes” de Gráficos de Superfície (Figuras 21 a 23), referentes às simulações realizadas com 1.000 gerações, uma para cada densidade populacional (20%, 50% e 80%), e cada uma contendo 72 combinações distintas, divididas entre aquelas em contexto de instituição de origem exógena (36) e endógena (36). Dessa forma, é facilitado o trabalho de identificar aquelas combinações nas quais a norma é estabelecida ou não, e com que frequência isso ocorre. As seis combinações restantes, do total de 222, correspondem às simulações sem instituição e que servem de linha de base, e cujos resultados são apresentados apenas nas tabelas.

Podemos observar na Figura 21, onde consideramos apenas a densidade populacional de 20%, que a norma social raramente colapsa e que é quase sempre estabelecida quando o peso institucional é igual ou superior a 20%. A região de interesse, portanto, se situa nas duas linhas inferiores dos Gráficos de Superfície, onde a norma se estabelece algumas vezes e permanece indefinida nas demais. Essa região corresponde ao peso institucional de 5%. Podemos perceber, ainda, uma pequena diferença em favor da instituição endógena, onde o estabelecimento da norma ocorre com maior frequência que na instituição exógena.

Ao considerarmos uma densidade populacional de 50%, na Figura 22, a norma social passa a colapsar com alguma frequência, especialmente nos casos em que o peso institucional mínimo é nulo, ainda que o peso institucional seja de 20%. O estabelecimento da norma, então, só é garantido para as situações em que o peso institucional é alto (50%). Já não há mais perceptível diferença a favor da instituição endógena.

Na densidade populacional de 80%, representada na Figura 23, a diferença passa a ser a favor da instituição exógena. Podemos observar que, para as instituições exógenas, em situações de peso institucional baixo (5%) e peso mínimo nulo uma norma raramente é estabelecida; enquanto que para as instituições endógenas, nessas mesmas situações a norma não foi estabelecida nenhuma vez. Além disso, a região onde a norma colapsa torna-se bastante evidente, compreendendo o conjunto de situações de peso institucional baixo (5%) e peso mínimo menor ou igual a 2%, e de situações de peso institucional médio (20%) e peso mínimo nulo.

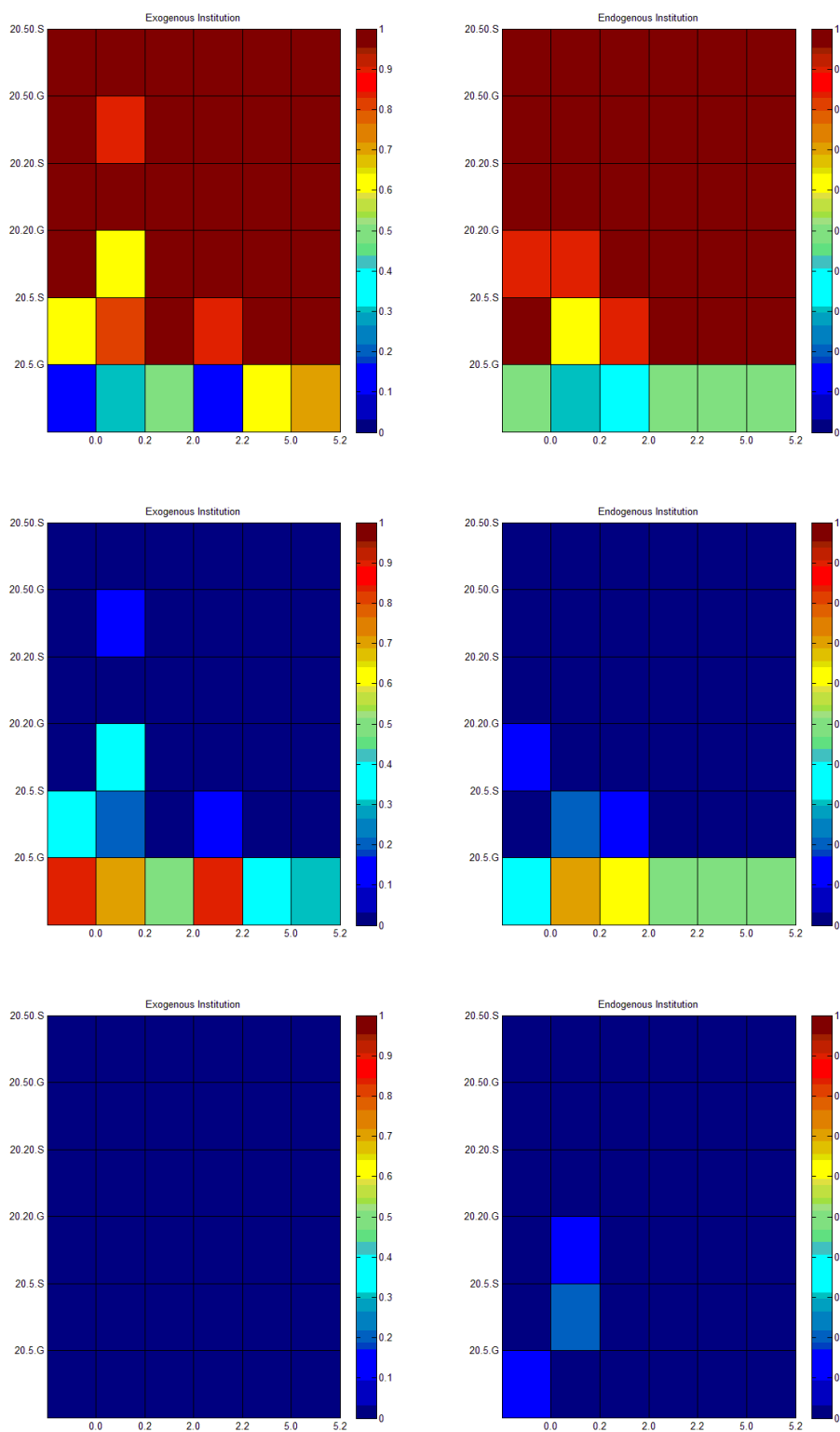


Figura 21. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida (acima), indefinida (centro) ou colapsada (abaixo) para densidade populacional de 20% em rodadas de 10 simulações de 1.000 gerações. Combinações dadas por  $NN.WW.D$  no eixo vertical e  $M.S$  no eixo horizontal.

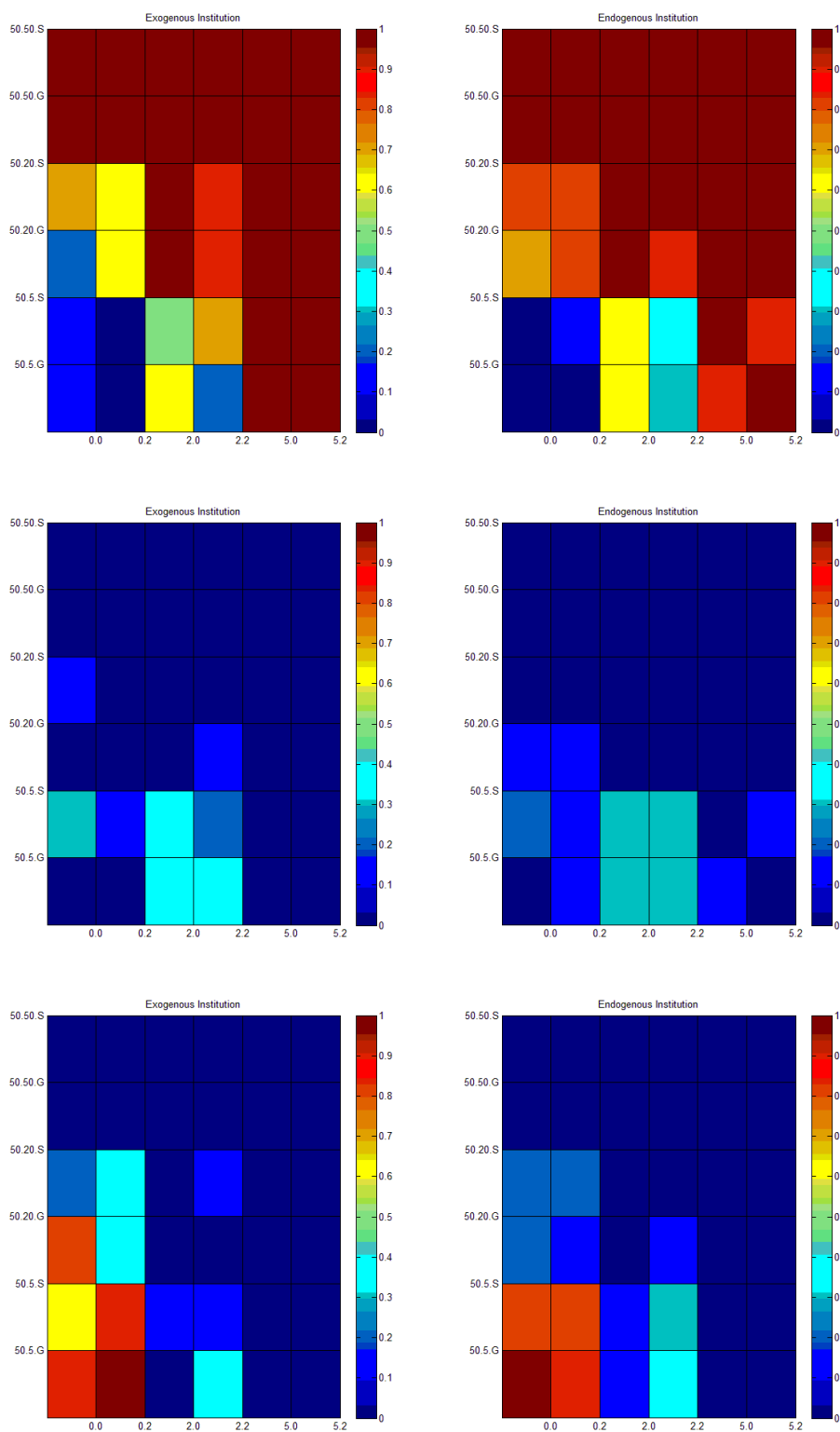


Figura 22. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida (acima), indefinida (centro) ou colapsada (abaixo) para densidade populacional de 50% em rodadas de 10 simulações de 1.000 gerações. Combinações dadas por  $NN.WW.D$  no eixo vertical e  $M.S$  no eixo horizontal.

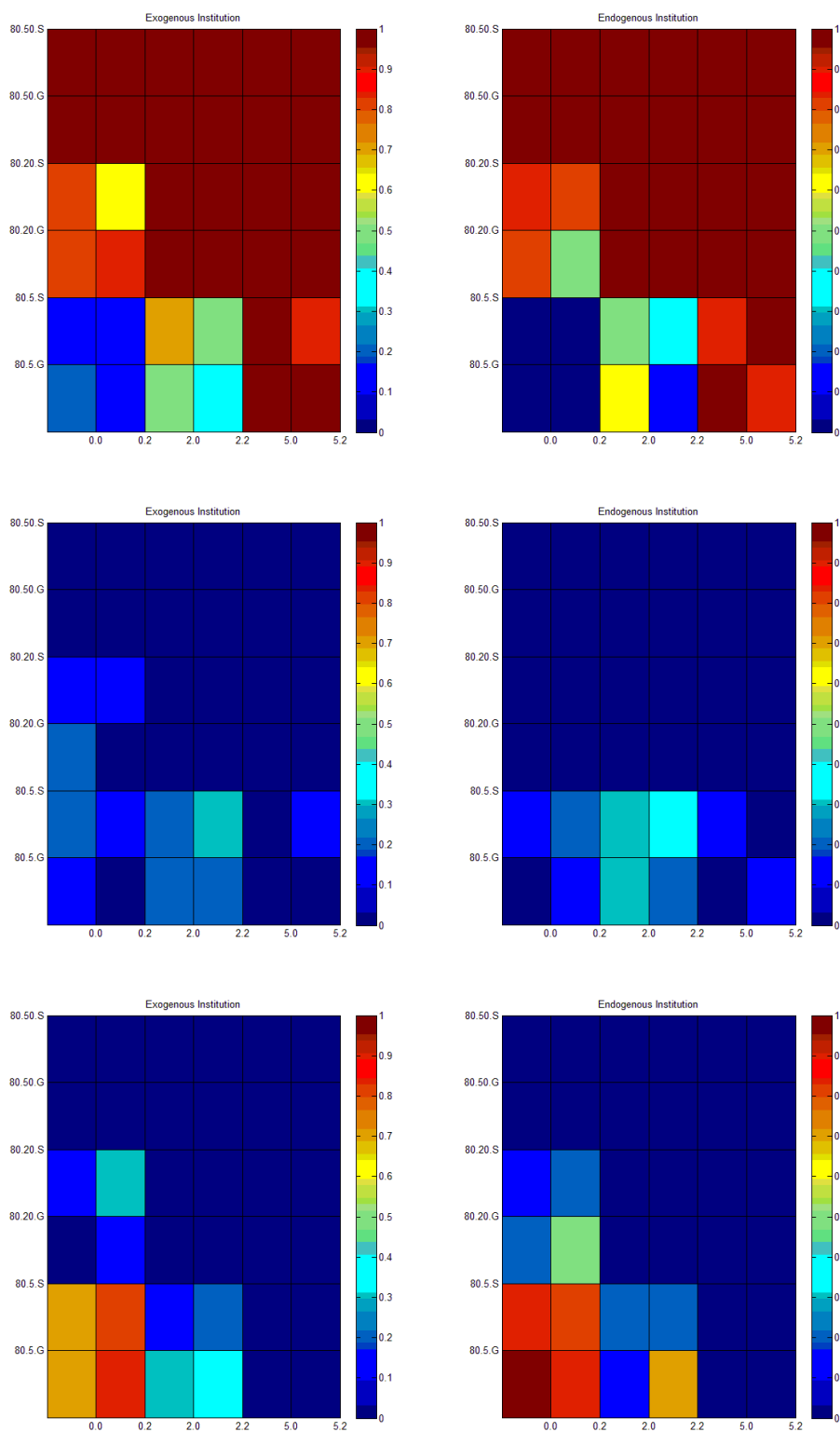


Figura 23. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida (acima), indefinida (centro) ou colapsada (abaixo) para densidade populacional de 80% em rodadas de 10 simulações de 1.000 gerações. Combinações dadas por  $NN.WW.D$  no eixo vertical e  $M.S$  no eixo horizontal.

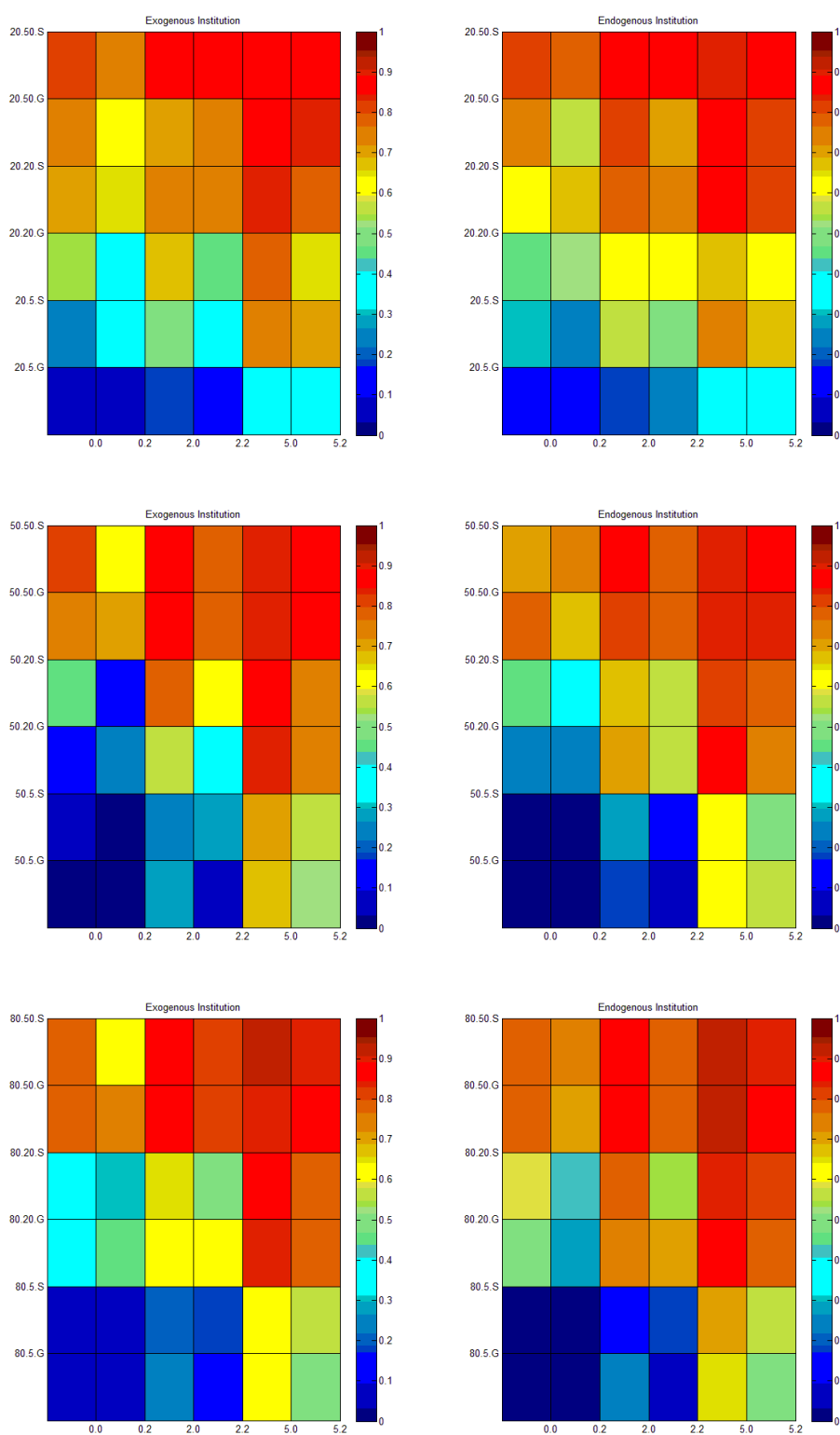


Figura 24. Gráficos de Superfície para a proporção média de ticks em que a norma se encontrava estabelecida ao longo da rodada de simulações. Células em azul (vermelho) indicam combinações onde a norma se estabeleceu por uma pequena (grande) parcela do tempo. Combinações dadas por  $NN.WW.D$  no eixo vertical e  $M.S$  no eixo horizontal.

A fim de qualificar o estabelecimento ou colapso da norma, compusemos um Gráfico de Superfície a partir da proporção média de *ticks* (*#ticks* Norma – Médio, nas Tabelas 9 a 14) em que a norma foi considerada estabelecida ao longo de uma rodada de simulação. Assim, a Figura 24 confirma a região onde a norma dificilmente se estabelece, dada pelas 12 combinações em “L” de cada Gráfico de Superfície, dadas pela interseção das duas primeiras colunas com as duas últimas linhas. A evolução da norma média ao longo do tempo simulado pode ser observada nas Figuras 29 a 32, 34 e 36. Já os atributos médios da instituição endógena, também ao longo do tempo simulado, podem ser observados nas Figuras 33, 35 e 37.

Essas 72 combinações, juntamente com as 6 combinações onde não existe instituição, compõem o objeto da segunda sequência de rodadas de simulação. Novamente, cada combinação é rodada por 10 vezes, porém, por 10.000 gerações. Considerando que em muitas combinações a simulação permanecia com a norma indefinida pela maior parte do tempo, especialmente para baixa densidade populacional, optamos por aumentar a extensão das simulações, ao invés de sua quantidade.

A Figura 25 apresenta a “matriz” de Gráficos de Superfície resultante dessa segunda sequência de rodadas de simulação. Assim como nas “matrizes” anteriores, a primeira linha apresenta a frequência de estabelecimento da norma para cada combinação, enquanto as duas linhas subsequentes apresentam as frequências relativas à indefinição e ao colapso da norma.

Ao estendermos as simulações por 10.000 gerações, a vantagem em favor das instituições endógenas no estabelecimento da norma torna-se evidente. As instituições exógenas raramente estabelecem a norma, que permanece indefinida na maior parte das vezes quando a densidade populacional é baixa e colapsa na maior parte das vezes quando a densidade populacional é média ou alta. As instituições endógenas, por outro lado, quase sempre estabelecem a norma, e colapsam com baixa frequência, apenas nas densidades populacionais superiores. Em baixas densidades populacionais, o pior resultado observado para as instituições endógenas é a indefinição, em até 40% das vezes.

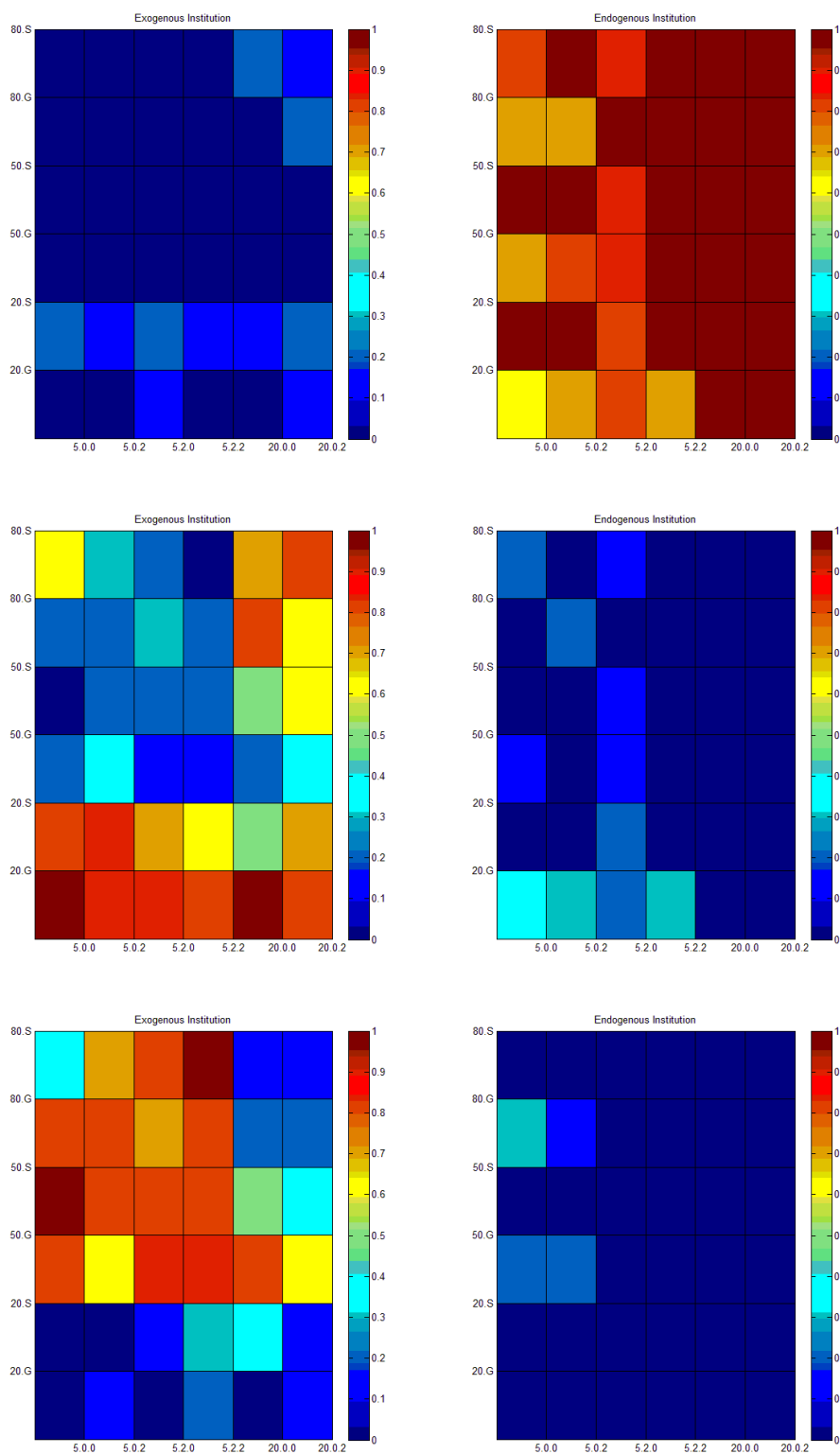


Figura 25. Matriz de Gráficos de Superfície para a norma estabelecida (acima), indefinida (centro) ou colapsada (abaixo) para 72 combinações selecionadas em rodadas de 10 simulações de 10.000 gerações. Combinações dadas por  $NN.D$  no eixo vertical e  $WW.M.S$  no eixo horizontal.



Torna-se evidente também, no contexto de instituições endógenas, a diferença entre as linhas ímpares e pares do Gráfico de Superfície da primeira linha da “matriz” (referente ao estabelecimento da norma). As linhas ímpares representam as combinações de observação de deserção “geográfica e social”, enquanto nas pares, a observação é “apenas geográfica”. Como se podia esperar, o aumento das formas de controle da deserção, ao incluir a possibilidade de observação (ou controle) social e não apenas geográfica, aumenta significativamente a frequência de estabelecimento da norma.

Ainda no contexto de instituições endógenas, ressaltamos a diferença entre as colunas ímpares e pares, também do Gráfico de Superfície da primeira linha da matriz. As colunas ímpares representam as combinações onde a intensidade da imitação da instituição é puramente aleatória, enquanto nas pares, a intensidade é dada pela função sigmoide apresentada na Figura 13, com parâmetro  $\beta$  igual a dois, de forma que agentes culturalmente próximos dos atributos institucionais se movimentarão mais facilmente em direção aos mesmos; enquanto aqueles distantes rejeitarão esse movimento na maior parte do tempo. O aumento da intensidade da imitação da instituição, que pode ser pensada como uma medida de viés a favor ou contra a mesma, portanto, age no sentido de favorecer o estabelecimento da norma em instituições endógenas.

Novamente, a fim de qualificar o estabelecimento ou colapso da norma, apresentamos os Gráficos de Superfície para a proporção de tempo em que a norma permaneceu estabelecida durante a simulação, conforme a Figura 26.

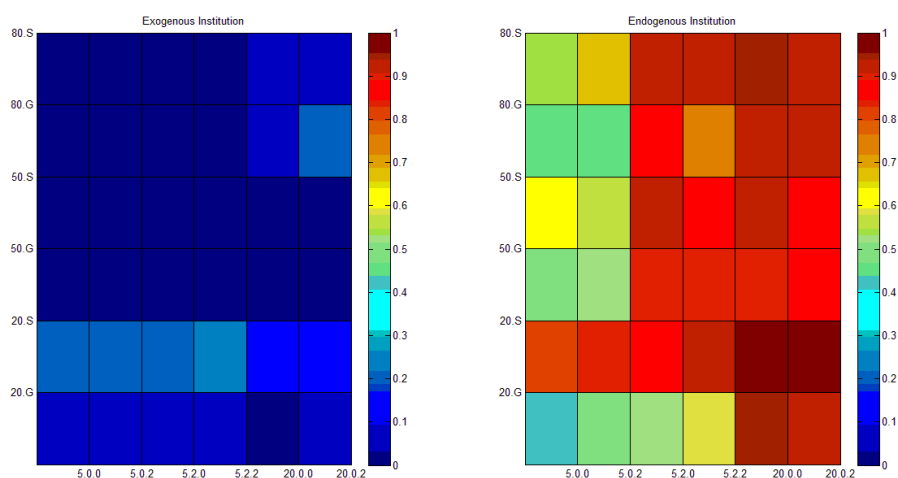


Figura 26. Gráficos de Superfície para a proporção média de ticks em que a norma se encontrava estabelecida ao longo da rodada de simulações. Células em azul indicam combinações onde a norma se estabeleceu por

uma pequena parcela do tempo. Células em vermelho indicam combinações onde a norma permaneceu estabelecida pela maior parte do tempo. Combinações dadas por *NN.D* no eixo vertical e *WW.M.S* no eixo horizontal.

Considerando as instituições endógenas, podemos notar que um peso institucional baixo (5%) associado a um peso mínimo nulo provoca uma substancial redução na proporção de tempo em que a norma é estabelecida. Uma exceção importante, contudo, são as combinações 20.5.0.0.E.S e 20.5.0.2.E.S, que apresentam proporções mais elevadas que as demais. Aparentemente, a possibilidade de controle social é especialmente efetiva em baixas densidades populacionais.

Resta investigar, porém, se as menores proporções observadas nas duas primeiras colunas são fruto de um comportamento oscilatório ou se são decorrentes de uma maior demora no estabelecimento inicial da norma. Para tal, apresentaremos o Gráfico de Superfície para a proporção média de *ticks* (*#ticks* Prim. Norma – Médio, nas Tabelas 15 e 16) na qual a norma foi estabelecida pela primeira vez ao longo de uma rodada de simulação, conforme a Figura 27.

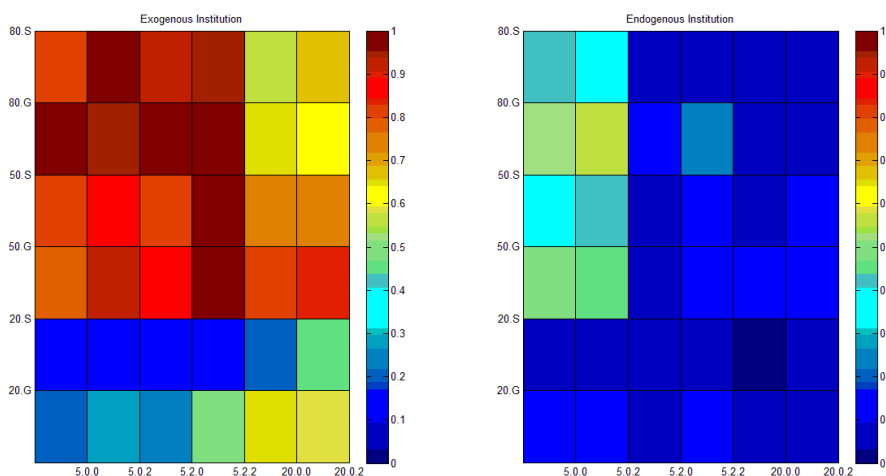


Figura 27. Gráficos de Superfície para a proporção média de ticks em que a norma foi estabelecida pela primeira vez ao longo da rodada de simulações. Células em azul indicam combinações onde a norma se estabeleceu rapidamente. Células em vermelho indicam combinações onde a norma demorou a se estabelecer. Combinações dadas por *NN.D* no eixo vertical e *WW.M.S* no eixo horizontal.

Ainda no contexto de instituições endógenas, podemos verificar que a norma é estabelecida rapidamente na grande maioria das combinações consideradas. Apenas quando consideramos densidades populacionais média e alta, e peso institucional baixo associado a um peso mínimo nulo, existe uma demora no estabelecimento da norma. Esses resultados sugerem que baixas densidades populacionais funcionam como catalisadoras do

processo de estabelecimento da norma, acelerando-o. Interessante notar que essa função catalisadora também é válida para instituições exógenas.

Uma vez determinada a velocidade de estabelecimento da norma, verificaremos a estabilidade da mesma. Para tal, apresentaremos, na Figura 28, o Gráfico de Superfície relativo ao percentual de tempo no qual a norma permaneceu estabelecida, uma vez que tenha sido estabelecida pela primeira vez (% *ticks* N após prim. N, nas Tabelas 15 e 16). Valores próximos de um indicam uma norma estável ao longo do tempo.

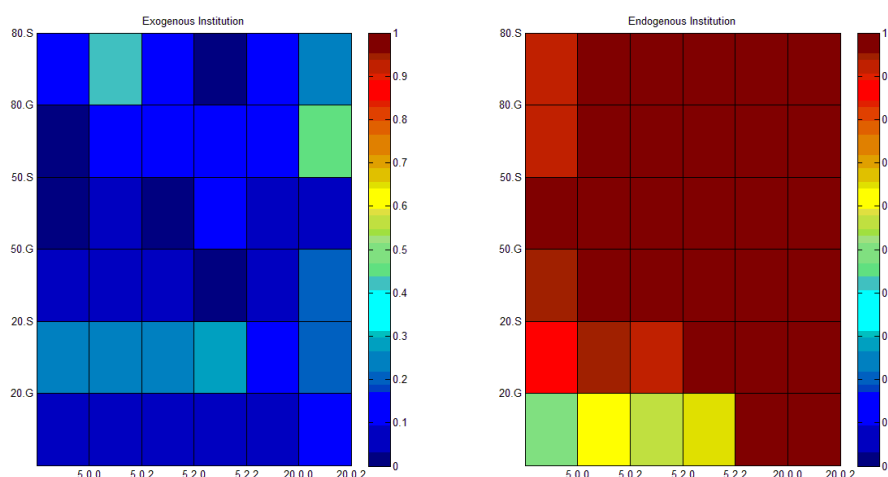


Figura 28. Gráficos de Superfície para percentual de tempo no qual a norma permaneceu estabelecida, uma vez que tenha sido estabelecida pela primeira vez, ao longo da rodada de simulações. Células em azul indicam combinações onde a norma é instável. Células em vermelho indicam combinações onde a norma é estável. Combinações dadas por *NN.D* no eixo vertical e *WW.M.S* no eixo horizontal.

Podemos verificar que, em um contexto de instituições endógenas, densidades populacionais médias e altas apresentam altos níveis de estabilidade de uma norma estabelecida, embora o processo seja relativamente mais demorado, como verificamos na figura anterior. Já para baixas densidades populacionais, onde o processo era mais rápido, verificamos que a estabilidade é mais frágil. A existência de controle social nessas situações, contudo, aproxima a estabilidade da norma aos níveis observados para as outras densidades populacionais. E, no caso de instituições exógenas, a norma pode ser considerada instável em quase todas as combinações consideradas.

Apresentamos também a evolução da norma média ao longo do tempo simulado, para as combinações contempladas nessa segunda sequência de rodadas de simulações, nas Figuras 38 a 41, 43 e 45. Os atributos médios da instituição endógena são apresentados nas Figuras 42, 44 e 46.

### 3.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados mostraram a relevância de alguns aspectos do arranjo institucional para o estabelecimento de uma norma social em uma população de desertores. Evidencia-se, assim, o caráter de instrumento viabilizador da cooperação das instituições.

Instituições fortes, capazes de influenciar significativamente as características (ou valores) da população; ou abrangentes, capazes de incluir a totalidade da população sob sua área de influência; como se podia antecipar, foram bem sucedidas ao transformar os atributos da população.

O desafio, portanto, encontrava-se nas instituições pouco influentes ou pouco abrangentes. Quais condições eram necessárias para que essas instituições, também, pudessem ser bem sucedidas?

Em uma primeira etapa, as instituições exogenamente criadas e impostas à população pareceram efetivas, porém, ao estendermos o prazo de tempo simulado, tais instituições raramente foram bem sucedidas no estabelecimento da norma. Nosso foco, então, passou para as instituições endógenas, cujos valores eram estabelecidos pela mediana dos valores das população considerada.

Nesse contexto, a possibilidade de controle social mostrou-se particularmente efetiva para a viabilização do estabelecimento de uma norma, sendo fundamental no caso de populações de baixa densidade. A indiferença dos agentes em relação aos valores institucionais, por outro lado, se mostrou um obstáculo nesse sentido. Populações mais densas exibiram uma grande estabilidade da norma social, embora o processo seja substancialmente mais lento que aquele de populações de baixa densidade. Nessas últimas, contudo, a estabilidade da norma é dependente de fatores adicionais, como a existência de controle social.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho investigamos o papel das instituições na emergência da cooperação em um contexto de exploração de um recurso de uso comum, através de uma simulação baseada em agentes. Apropriamo-nos de diferentes modelos consagrados na literatura, como o Jogo de Metanormas de Axelrod (1986), incluindo posteriores refinamentos, o Modelo de Disseminação da Cultura de Axelrod (1997) e o *framework* de Análise e Desenvolvimento Institucional (IAD) de Ostrom (2005), a fim de combiná-los em um ambicioso modelo que contemplasse os mais diferentes aspectos envolvidos nas interações entre agentes em uma “arena de ações”.

O modelo elaborado se mostrou adequado na maioria dos aspectos contemplados, exceção feita à evolução das conexões sociais entre os agentes. Assim, passamos a considerar a rede social que conecta os agentes – uma rede livre de escala – como dada, gerada ao início de cada simulação através do algoritmo de Barabási e Albert (2002), e constante ao longo de cada simulação.

Dada a riqueza de combinações de parâmetros propiciadas pelo modelo, foi necessário restringir à análise a um subconjunto reduzido dessas. Escolhemos seis variáveis de maior interesse, principalmente aquelas referentes aos parâmetros institucionais constantes do espaço cultural, a saber: força (peso), alcance (peso mínimo), origem e intensidade da imitação da instituição, forma de observação do comportamento desertor e densidade populacional. Assim, foi possível simular diferentes aspectos relativos ao ambiente institucional: instituições fracas, médias ou fortes; abrangentes ou limitada; estabelecidas exógena ou endogenamente; onde os agentes são indiferentes ou viesados a respeito dos valores da instituição; onde pode existir ou não um controle social e; por fim, se a comunidade de agentes consiste em um ambiente de baixa, média ou alta densidade populacional.

Consideramos, então, o caso crítico: uma população composta inteiramente de desertores, onde o atributo de “ousadia” era o máximo possível e o de “vingança”, o mínimo possível. Os valores institucionais desejados, por outro lado, eram diametralmente opostos aos da população: atributo de “ousadia” igual ao mínimo possível e o de “vingança”, o máximo possível. A instituição, em si, podia ser exógena, ou seja, determinada *a priori* com os valores desejados e constantes ao longo do tempo; ou

endógena, alterada periodicamente para refletir as medianas dos atributos da população. O objetivo era verificar se a existência de uma instituição, dadas suas características específicas, era eficaz e eficiente ao transformar os atributos da população de forma que uma norma social pudesse ser considerada estabelecida, e se esse resultado se mostrava estável ao longo do tempo. O cenário-base foi dado pela inexistência de instituição, onde os resultados indicaram a indefinição ou colapso da norma na quase totalidade do tempo simulado.

A primeira sequência de rodadas de simulações, onde as estatísticas eram auferidas ao final de 1.000 gerações, mostrou que 2/3 das combinações consideradas apresentaram o comportamento institucional desejado: a instituição havia cumprido seu papel de transformar os atributos da população e a norma social havia sido estabelecida. Essas combinações incluíam instituições fortes ( $w_{inst} = 0,50$ ) ou abrangentes ( $w_{inst} - r_{inst} = 0,05$ ), independentemente das demais características. Além disso, em densidades populacionais médias ( $N = 50$ ), a combinação de instituições de força e abrangência médias ( $w_{inst} = 0,20$  e  $w_{inst} - r_{inst} = 0,02$ ) também se mostrou eficaz.

Os casos de interesse, portanto, foram representados pelas combinações que apresentaram indefinição ou o colapso da norma. Essas combinações incluíam instituições fracas ( $w_{inst} = 0,05$ ) e de abrangência limitada ( $w_{inst} - r_{inst} \leq 0,02$ ) ou instituições de força média ( $w_{inst} = 0,20$ ) e sem abrangência ( $w_{inst} - r_{inst} = 0,0$ ). O comportamento observado, contudo, dependeu da densidade populacional: em baixas densidades ( $N = 20$ ), a indefinição permanecia, enquanto nas demais ( $N = 50$  ou  $N = 80$ ), a norma colapsava. A origem institucional, por sua vez, não pareceu determinar o comportamento observado, uma vez que os resultados encontrados foram semelhantes em ambos os casos, exógena ou endógena.

A segunda sequência de rodadas de simulações, contemplando essas combinações de interesse, estendeu o tempo simulado para 10.000 gerações. A primeira e mais importante diferença observada em relação à primeira sequência foi a predominância das instituições endógenas no conjunto das combinações onde se observou o estabelecimento da norma. No contexto de instituições exógenas, contudo, os resultados obtidos assemelharam-se aos da primeira sequência: indefinição para baixas densidades populacionais e colapso para as demais. Logo, ao considerarmos um prazo mais longo, as instituições endógenas se mostraram muito mais eficazes que as exógenas, no que tange ao

estabelecimento de uma norma social em uma população inicial constituída exclusivamente de agentes desertores.

Entretanto, mesmo dentre as combinações que consideravam a instituição como endogenamente criada, observamos casos de indefinição ou colapso da norma. É digno de nota o fato que não houve sequer um colapso da norma em situações de baixa densidade populacional ( $N = 20$ ), ao passo que, nas demais densidades, a possibilidade de colapso só foi evitada na presença de controle social ( $Obs = S$ ).

Encontramos, ainda, que o estabelecimento da norma social foi significativamente mais rápido em populações de baixa densidade ( $N = 20$ ), até mesmo em contextos de instituições exógenas (embora, nesses casos, a norma tenha se mostrado altamente instável). Esses dois últimos resultados indicam que comunidades pequenas possuem vantagens ao estabelecer rapidamente uma norma e evitar que a mesma colapse – o pior resultado alcançado foi a indefinição temporária.

Embora populações mais densas ( $N \geq 50$ ) percorram um caminho mais longo até o estabelecimento de uma norma social, quando consideradas instituições fracas ( $w_{inst} = 0,05$ ) e sem abrangência ( $w_{inst} - r_{inst} = 0,0$ ), a norma se mostrou altamente estável, uma vez que tenha sido estabelecida.

O mesmo, contudo, não se aplica à populações de baixa densidade ( $N = 20$ ) com instituições fracas ( $w_{inst} = 0,05$ ) e abrangência nula ou limitada ( $w_{inst} - r_{inst} \leq 0,02$ ), onde apenas a existência de controle social ( $Obs = S$ ) foi capaz de evitar que a norma oscilasse para a indefinição.

Quanto à indiferença ou viés dos agentes em relação aos valores da instituição, durante o processo de imitação, o mesmo foi relevante apenas quando a instituição era fraca ( $w_{inst} = 0,05$ ). Nesse caso, a existência de viés mostrou-se fator contribuinte para o estabelecimento da norma.

Em suma, considerando o conjunto de resultados obtidos através das simulações, para uma comunidade que explora um recurso de uso comum, cuja organização social corresponde a uma rede livre de escala, e cujas punições ao comportamento socialmente inaceitável seguem as regras do Jogo de Metanormas de Axelrod (1986), encontramos indícios que suportam as seguintes hipóteses:

- a) Arranjos institucionais endógenos são mais eficazes ao promover mudanças culturais de longo prazo em populações;
- b) A possibilidade de controle social é suficiente, na maioria dos casos, para o estabelecimento da norma;
- c) Comunidades médias ou grandes são capazes de estabelecer normas estáveis;
- d) Comunidades pequenas são capazes de estabelecer normas rapidamente, mas sua estabilidade é dependente da existência de controle social; e
- e) A indiferença (ou neutralidade) aos valores institucionais é obstáculo ao estabelecimento de uma norma.

As hipóteses (b) até (e) consideram um ambiente de instituição endógena e fraca, com abrangência nula ou limitada.

O caso especial de pequenas comunidades, com instituições próprias dotadas de poder e abrangência limitados, onde uma norma social, embora rapidamente estabelecida, tem sua estabilidade dependente do envolvimento de seus membros e da existência de controle social (equivalente às combinações 20.5.0.0.E.G, 20.5.0.2.E.G, 20.5.0.0.E.S, 20.5.0.2.E.S em nossas simulações) é representativo dos resultados obtidos por Ostrom (1990) em seus experimentos de campo.

No presente trabalho nos detivemos nos aspectos qualitativos do papel das instituições na emergência da cooperação e no estabelecimento de uma norma social. A modelagem do espaço cultural e institucional mostrou-se bastante promissora, e trabalhos futuros se concentrarão, especialmente, nessas quatro últimas combinações citadas, de forma a tentar elucidar os mecanismos responsáveis pelos resultados observados. Além disso, redes sociais com diferentes características, ou ainda, dinâmicas, poderão ser utilizadas para testar a robustez desses resultados. Alternativamente, poderão ainda ser consideradas populações crescentes, agentes dotados de memória, diferentes velocidades de aprendizado entre os agentes, e a relevância de um único indivíduo “idealista” convicto – cujos atributos não se alteram – sobre a velocidade de estabelecimento e a estabilidade de uma norma social.



## 5. REFERÊNCIAS

- AKTIPIIS, C. A. Is cooperation viable in mobile organisms? Simple walk away rule favors the evolution of cooperation in groups. Evolution and Human Behavior. Vol. 32, p. 263-76, 2011.
- ALBERT, R.; BARABASI, A. Statistical mechanics of complex networks. Reviews of Modern Physics. Vol.74, 47-97, 2002.
- ARTHUR, W. B. Complexity and the economy. Science. Vol. 284, 107-109, 1999.
- ARTHUR, W. B. Complexity economics: a different framework for economic thought. Santa Fe Institute Working Paper, 2013. Disponível em <<http://www.santafe.edu/media/workingpapers/13-04-012.pdf>>
- ARTHUR, W.B. Complexity, the Santa Fe approach, and non-equilibrium economics. History of Economic Ideas. Vol. XVIII, 149-166, 2010.
- ARTHUR, W. B. Inductive reasoning and bounded rationality (The El Farol problem). American Economic Review. Vol. 84, 406, 1994.
- ARTHUR, W. B. Out-of-equilibrium economics and agent-based modeling. Santa Fe Institute Working Paper, 2005. Disponível em <<http://www.santafe.edu/media/workingpapers/05-09-037.pdf>>
- AXELROD, R. Advancing the art of simulation in social sciences. In: Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economy and Management. Hersey, PA: Idea Group, 2005.
- AXELROD, R. An evolutionary approach to norms. American Political Science Review. Vol.80, N.4, 1095-1111, 1986.
- AXELROD, R. The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization. Journal of Conflict Resolution. Vol. 41, N.2, p. 203-226, 1997.
- AXELROD, R. The Evolution of Cooperation. Cambridge: Basic Books, 1984.
- BONACICH P.; SHURE G.; KAHAN, J; MEEKER, R. Cooperation and group size in the n-person prisoner's dilemma. Journal of Conflict Resolution. Vol 20, p. 687-706, 1976.

BOWLES, S. Microeconomics: Behavior, Institutions and Evolution. Princeton: Princeton University Press, 2004.

BRAVO, G. The evolution of institutions for common-pool resource management: an agent based model. Rationality and Society. Vol. 23, 117-52, 2011.

BRATLEY, P.; FOX, B.; SCHRAGE, L. A Guide to Simulation. New York: Springer-Verlag, 1987.

BUCHANAN, J.M. The Basis for Collective Action. New York: Gen. Learn. Press, 1971.

CANOVA, G. A. Jogos evolutivos: efeitos de difusão em redes complexas. Monografia de conclusão de curso. Porto Alegre, UFRGS, 2011.

CARTWRIGHT, D.; HARARY, F. Structural balance: A generalization of Heider's theory. Psychological Review. Vol. 63, N. 5, p.277-93, 1958.

CHANG, H.J.; EVANS, P. The role of institutions in economic change. In: Reimagining Growth. Londres: Zed Press, 2005.

CROWE, B.L. The tragedy of the commons revisited. Science, Vol. 166, p. 1103-7, 1969.

CSARDI, G.; NEPUSZ, T. The igraph software package for complex network research. InterJournal. Vol. Complex Systems, p. 1695, 2006. Disponível em <<http://igraph.sf.net>>

DAWES, R. M. Social Dilemmas. Annual Review of Psychology. Vol. 31, 169-93, 1980.

EASLEY, D.; KLEINBERG, J. Networks, crowds and markets. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

EPSTEIN, J.M.; AXTELL, R. Growing artificial societies. Washington D.C.: Brookings Institution Press, 1996.

EPSTEIN, J.M. Remarks on the foundations of agent-based generative social science. In: Handbook on Computational Economics II. Amsterdam: North Holland Press, 2005.

FRIEDLAND, R.; ALFORD, R. Bringing society back in: Symbols, practices and institutional contradictions. In The New Institutionalism in Organizational Analysis. Chicago: The University of Chicago Press, 1991.

GALAN, J.M.; LATEK, M.M.; RIZI, S.M.M. Axelrod's metanorm games on networks. PLoS ONE Vol. 6, N.5, 2011. Disponível em <<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0020474>>

GILBERT, N.; TROITZSCH, K. Simulation for the Social Scientist. Buckingham: Open University Press, 1999

GINO, F.; AYAL, S.; ARIELY, D. Contagion and differentiation in unethical behavior. Psychological Science. Vol. 20, N.3, 393-8, 2009.

GOTTS, N.M.; POLHILL, J.G.; LAW, A.N.R. Agent-based simulation in the study of social dilemmas. Artificial Intelligence Review. Vol. 19, 3-92, 2003.

HAMMOND, R. A.; AXELROD, R. The evolution of ethnocentrism. Journal of Conflict Resolution. Vol. 50, N. 6, 2006.

HARDIN, G.R. The tragedy of the commons. Science. Vol. 162, p. 1243-48, 1968.

HAYASHI, N. From Tit-for-Tat to Out-for-Tat: the dilemma of the prisoner's network. Sociology Theory Methods, Vol. 8, p.19-32, 1993.

HECHTER, M. When actors comply: Monitoring costs and the production of social order. Acta Sociology. Vol. 27, p.161-83, 1984.

HODGSON, G. Economics and Institutions. Cambridge: Polity Press, 1988.

IZQUIERDO, L.R.; GALAN, J.M. Appearances can be deceiving: lessons learned re-implementing Axelrod's "Evolutionary Approach to Norms". Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol.8, N.3, 2005. Disponível em <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/3/2.html>>

IZQUIERDO, L.R.; IZQUIERDO, S.S.; GALÁN, J.M.; SANTOS, J.I. Techniques to understand computer simulations: Markov chain analysis . Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol.12, N.1, 2009. Disponível em <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/6.html>>

KARP, D.; JIN, N.; YAMAGISHI, T.; SHINOTSUKA H. Raising the minimum in the minimal group paradigm. Japanese Journal of Experimental Social Psychology. Vol. 32, p. 231-40, 1993.

KERR, N. Illusions of efficacy: the effects of group size on perceived efficacy in social dilemmas. Journal of Experimental Social Psychology. Vol. 25, p. 287-313, 1989.

KOLLOCK, P. Social dilemmas: the anatomy of cooperation. Annual Review of Sociology. Vol. 24, 183-214, Ago/1998.

KOMORITA, S.S. Cooperative choice in decomposed social dilemmas. Personal Social Psychology Bulletin. Vol. 13, p.53-63, 1987.

KRAMER, R.M.; BREWER, M.B. Effects of group identity on resource use in a simulated commons dilemma. Journal of Personality and Social Psychology. Vol. 46, p. 1044-56, 1984.

KRAMER, R.M.; BREWER, M.B. Social group identity and the emergence of cooperation in resource conservation dilemmas. In Experimental Social Dilemmas. p. 205-34, Frankfurt, 1986.

MACAL, C.M.; NORTH, M.J. Tutorial on agent-based modeling and simulation. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. Orlando, FL, 2005.

MACY, M.W. Chains of cooperation: Threshold effects in collective action. American Sociology Review. Vol. 56, n. 12, p.730-47, 1991.

MAHMOUD, S.; GRIFFITHS, N.; KEPPENS, J.; LUCK, M. Overcoming omniscience for norm emergence in Axelrod's metanorm model. Coordination, Organizations, Institutions, and Norms in Agent System VII. Vol. 7254, 186-202, 2012.

MARWELL, G.; OLIVER, P. The Critical Mass in Collective Action: A Micro-Social Theory. Cambridge, MA, Cambridge University Press, 1993.

MESSICK, D.M.; BREWER, M.B. Solving social dilemmas. In Review of Personality and Social Psychology, p.11-44, Beverly Hills: Sage, 1983.

MITCHELL, MELANIE. Complexity: A Guided Tour. New York: Oxford University Press, 2009.

NETO, P. Ciência Política: Enfoque Integral Avançado. São Paulo: Editora Atlas, 2011.

NOAILLY, J.; VAN DEN BERGH, J.; WITHAGEN, C. Spatial evolution of social norms in a common-pool resource game. Sustainable Resource Use and Economic Dynamics. Vol. 10, 191-216, 2007.

NORTH, D. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

OLSON, M. The Logic of Collective Action. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1965.

OSTROM, E.; JANSSEN, M.; ANDERIES, J. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. Ecology and Society. Vol. 9, N. 1, 2004. Disponível em < <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18/>>

OSTROM, E. Collective action and the evolution of social norms. Journal of Economic Perspectives. Vol. 14, N.3, 137-158, 2000.

OSTROM, E. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

OSTROM, E. Institutional analysis and development: Elements of the framework in historical perspective. In Historical Developments and Theoretical Approaches in Sociology: Vol. 2. Oxford: EOLSS Publishers, 2010.

OSTROM, E. Institutional rational choice: an assessment of the Institutional Analysis and Development Framework. In Theories of the Policy Process. Boulder, CO: Westview Press, 2007.

OSTROM, E. Understanding Institutional Diversity. Princeton: Princeton University Press, 2005.

OSTROM, E.; GARDNER, R.; WALKER, J. Rules, games and common-pool resources. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1994.

PEÑA, J.; VOLKEN, H. Conformity hinders the evolution of cooperation on scale-free networks. Disponível em < <http://arxiv.org/abs/0906.2046>>

PLATT, G. Social traps, American Psychology. Vol. 28, p. 641-51, 1973.

- POUNDSTONE, W. The Recursive Universe. Chicago, IL: Contemporary Books, 1985.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2010. Disponível em <<http://www.R-project.org/>>
- SANTOS, F.; PACHECO, J.; LENAERTS, T. Cooperation prevails when individuals adjust their social ties. PLoS ONE. Vol. 2, N. 10, p. 1284-91, 2006.
- SETHI, R.; SOMANATHAN E. The evolution of social norms in common property resource use. The American Economic Review. Vol. 86, N.4, 766-788, 1996.
- SCHELLING, T.C. Micromotives and Macrobehavior. New York: Norton, 1978.
- SIGMUND, K.; DE SILVA, H.; TRAUlsen, A.; HAUERT, C. Social learning promotes institutions for governing the commons. Nature. Vol. 466, p. 861-3, 2010.
- STROGATZ, S.H. Exploring complex networks. Nature. Vol 410, p. 268-76, 2001.
- THIELE, J.C.; GRIMM, V. NetLogo meets R: Linking Agent-based models with a toolbox for their analysis. Environmental Modelling and Software. Vol. 25, N. 8, p. 972 – 974, 2010.
- VAN LANGE, P.A.M.; LIEBRAND, W.B.G.; MESSICK D.M.; WILKE H.A.M. Social dilemmas: the state of the art – introduction and literature review. In Social Dilemmas: Theoretical Issues and Research Findings, p. 3-28, Oxford: Pergamon. 1992.
- VAN STEEN, M. Graph Theory and Complex Networks: An Introduction. Amsterdam: Marteen Van Steen, 2010.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.
- WATTS, D.J.; STROGATZ, S.H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. Nature. Vol. 393, p. 440-2, 1998.
- WILENSKY, U. NetLogo. Evanston, IL Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, 1999. Disponível em <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>

XU, W.; LIU, Z. How community structure influences epidemic spread in social networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. Vol. 387, N.2, p. 623-30, 2008.

YAMAGISHI, T. Group size and the provision of a sanctioning system in a social dilemma. In Social Dilemmas: Theoretical Issues and Research Findings. p. 267-87, Oxford: Pergamon, 1992.

## APÊNDICES

**Tabela 9. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 20%.**

Instituição Exógena																										
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Min	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas												Norma Média									
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após			# ticks Colapsada			% ticks C após			# ticks			
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim. N	Min.	Médio	Máx.	prim. I	Final	N	I	C	Prim.			
20	0	0	0	G	0	7	3	-	2	18	969	997	1.000	58	24	406	718	29	-0,3	-	981	19	1.000			
20	0	0	0	S	1	8	1	-	43	281	686	943	1.000	76	141	423	706	28	0	-	939	61	1.000			
20	5	0	0	G	1	9	0	-	89	313	509	854	1.000	61	43	258	569	14	0,1	-	959	41	1.000			
20	5	0	0	S	6	4	0	-	242	721	165	704	1.000	82	24	344	730	15	0,6	-	976	24	1.000			
20	5	0	2	G	3	7	0	-	85	368	474	859	1.000	60	27	279	712	20	0,3	-	977	23	1.000			
20	5	0	2	S	8	2	0	-	366	698	300	605	1.000	93	28	284	668	18	0,8	-	983	17	1.000			
20	5	2	0	G	5	5	0	-	176	410	360	688	1.000	56	52	131	182	5	0,5	-	975	25	1.000			
20	5	2	0	S	10	0	0	134	478	714	193	480	790	92	34	112	312	4	1	36	943	21	833			
20	5	2	2	G	1	9	0	-	144	402	519	786	1.000	67	156	259	416	16	0,1	-	957	43	1.000			
20	5	2	2	S	9	1	0	-	378	706	234	588	1.000	92	77	216	541	11	0,9	-	964	36	1.000			
20	5	5	0	G	6	4	0	100	378	586	157	414	860	64	20	51	106	1	0,6	-	981	19	1.000			
20	5	5	0	S	10	0	0	586	720	832	149	254	406	97	14	47	95	2	1	517	469	14	406			
20	5	5	2	G	7	3	0	-	367	640	224	553	1.000	82	14	66	116	2	0,7	-	986	14	1.000			
20	5	5	2	S	10	0	0	507	694	813	184	293	479	98	28	90	236	3	1	460	522	18	479			
20	20	0	0	G	10	0	0	192	532	794	191	451	807	97	17	136	294	8	1	188	798	14	811			
20	20	0	0	S	10	0	0	359	696	852	147	298	621	99	24	114	305	5	1	357	619	24	621			
20	20	0	2	G	6	4	0	-	314	609	379	673	1.000	96	24	178	403	8	0,6	-	978	22	1.000			
20	20	0	2	S	10	0	0	320	649	833	164	348	678	99	17	109	399	1	1	320	663	17	678			
20	20	2	0	G	10	0	0	440	665	779	220	322	550	98	32	83	251	2	1	439	530	31	550			
20	20	2	0	S	10	0	0	349	722	819	172	274	649	99	19	77	190	3	1	348	638	14	649			
20	20	2	2	G	10	0	0	205	445	669	279	520	781	93	17	106	223	6	1	194	789	17	781			
20	20	2	2	S	10	0	0	430	734	884	115	263	569	99	26	93	209	4	1	430	544	26	569			
20	20	5	0	G	10	0	0	671	782	855	136	202	280	98	9	36	91	1	1	670	321	9	323			
20	20	5	0	S	10	0	0	787	830	876	123	167	208	100	18	38	61	0	1	786	196	18	208			
20	20	5	2	G	10	0	0	356	652	798	200	336	631	98	30	75	174	1	1	356	618	26	631			
20	20	5	2	S	10	0	0	551	771	882	117	227	442	100	13	63	109	2	1	551	436	13	442			
20	50	0	0	G	10	0	0	620	763	878	121	230	376	99	41	77	201	1	1	620	343	37	376			
20	50	0	0	S	10	0	0	722	817	893	106	182	276	100	28	77	142	2	1	722	270	8	276			
20	50	0	2	G	9	1	0	-	603	860	139	391	1.000	99	47	136	301	4	0,9	-	953	47	1.000			
20	50	0	2	S	10	0	0	491	759	919	80	239	508	100	10	80	162	2	1	491	500	10	508			
20	50	2	0	G	10	0	0	320	706	859	137	289	675	99	24	60	96	1	1	320	656	24	675			
20	50	2	0	S	10	0	0	788	875	909	90	124	211	100	17	39	59	0	1	788	195	17	211			
20	50	2	2	G	10	0	0	439	731	892	107	264	545	99	31	62	137	2	1	439	541	20	545			
20	50	2	2	S	10	0	0	790	848	886	112	151	209	100	13	41	87	1	1	790	199	11	209			
20	50	5	0	G	10	0	0	730	873	922	71	123	269	100	8	23	44	0	1	730	262	8	269			
20	50	5	0	S	10	0	0	817	878	913	86	120	179	100	22	34	50	0	1	817	161	22	179			
20	50	5	2	G	10	0	0	745	831	905	94	163	252	99	14	30	53	0	1	745	244	11	252			
20	50	5	2	S	10	0	0	754	850	897	102	149	245	100	21	46	86	1	1	754	225	21	245			

Elaborado pelo autor



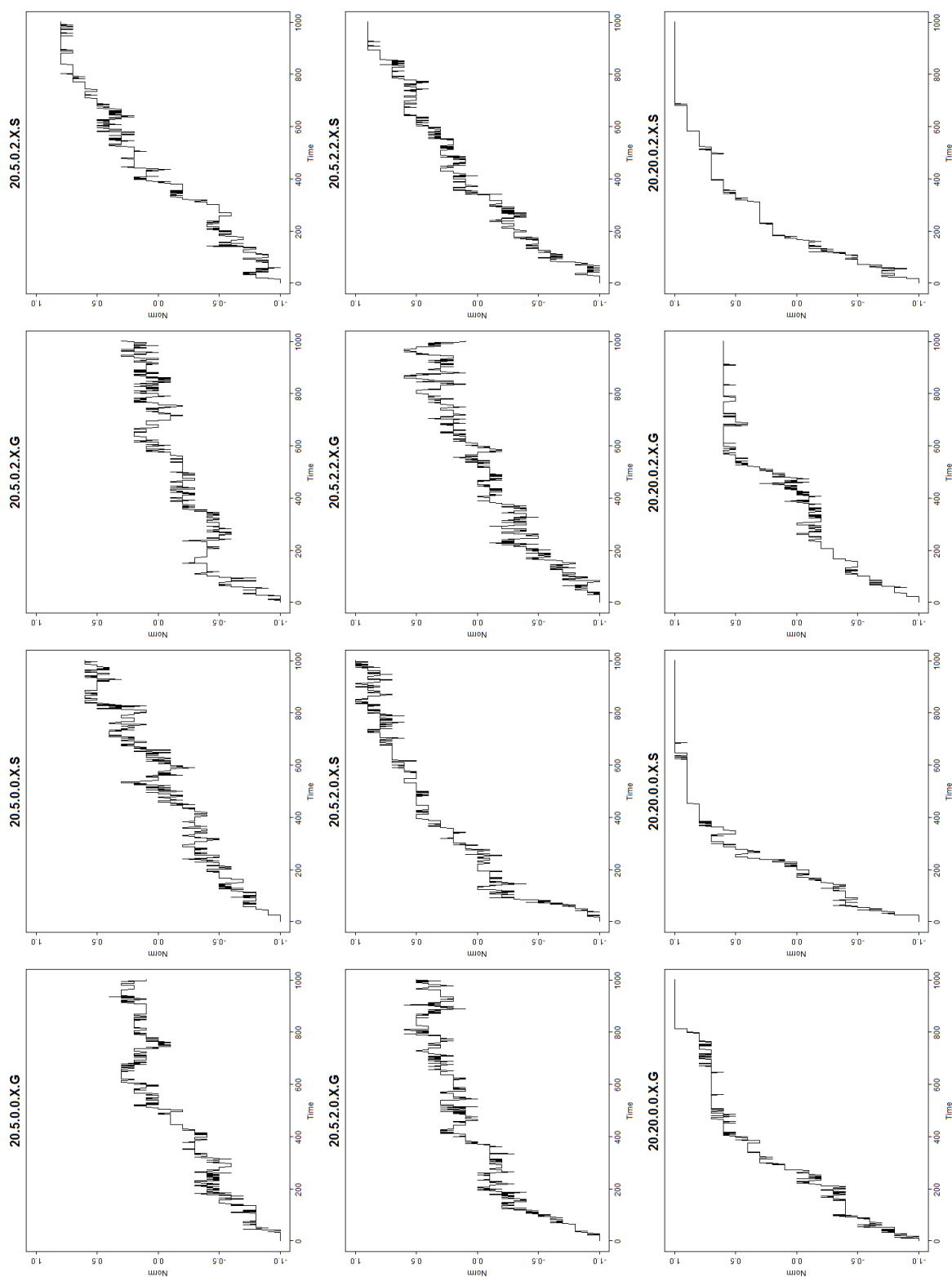


Figura 29. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 20%. Elaborado pelo autor.

**Tabela 10. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 50%.**

Instituição Exógena																										
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Mín	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas															Norma Média						
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após			# ticks Colapsada			% ticks C após			# ticks			
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim. N	Min.	Médio	Máx.	prim. I	Final	N	I	C	Prim.			
50	0	0	0	G	0	0	10	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	837	953	1.000	41	-1	-	385	615	1.000			
50	0	0	0	S	0	1	9	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	875	967	1.000	37	-0,9	-	316	684	1.000			
50	5	0	0	G	1	0	9	-	2	21	972	997	1.000	75	773	965	1.000	25	-0,8	-	343	657	1.000			
50	5	0	0	S	1	3	6	-	59	590	406	941	1.000	99	91	865	995	59	-0,5	-	910	90	1.000			
50	5	0	2	G	0	0	10	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	795	944	1.000	44	-1	-	452	548	1.000			
50	5	0	2	S	0	1	9	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	717	890	997	56	-0,9	-	792	208	1.000			
50	5	2	0	G	6	4	0	-	288	603	365	702	1.000	97	133	472	835	30	0,6	-	912	88	1.000			
50	5	2	0	S	5	4	1	-	243	787	211	741	1.000	94	112	509	891	35	0,4	-	912	88	1.000			
50	5	2	2	G	2	4	4	-	93	485	512	906	1.000	99	170	720	999	37	-0,2	-	858	142	1.000			
50	5	2	2	S	7	2	1	-	279	626	373	715	1.000	98	102	493	959	20	0,6	-	913	87	1.000			
50	5	5	0	G	10	0	0	558	670	754	210	321	441	99	30	82	176	3	1	545	439	16	441			
50	5	5	0	S	10	0	0	467	694	819	180	284	523	97	8	87	256	2	1	465	528	7	523			
50	5	5	2	G	10	0	0	48	520	806	193	477	951	99	33	267	645	12	1	38	929	33	951			
50	5	5	2	S	10	0	0	154	574	812	175	422	844	99	22	200	529	10	1	152	828	20	844			
50	20	0	0	G	2	0	8	-	113	677	320	886	1.000	99	231	848	1.000	47	-0,6	-	820	180	1.000			
50	20	0	0	S	7	1	2	-	452	816	183	547	1.000	100	36	437	1.000	16	0,5	-	964	36	1.000			
50	20	0	2	G	6	0	4	-	256	755	244	744	1.000	100	105	639	1.000	29	0,2	-	895	105	1.000			
50	20	0	2	S	6	0	4	-	126	552	447	873	1.000	100	283	750	994	37	0,2	-	821	179	1.000			
50	20	2	0	G	10	0	0	274	551	702	292	447	725	100	124	281	529	7	1	274	617	109	725			
50	20	2	0	S	10	0	0	669	782	889	110	217	330	100	39	118	249	0	1	669	294	37	330			
50	20	2	2	G	9	1	0	-	384	803	196	615	1.000	100	69	465	891	16	0,9	-	931	69	1.000			
50	20	2	2	S	9	0	1	-	602	864	135	397	1.000	100	51	258	652	12	0,8	-	950	50	1.000			
50	20	5	0	G	10	0	0	781	838	902	96	161	218	100	13	61	81	1	1	781	206	13	218			
50	20	5	0	S	10	0	0	818	854	913	86	145	181	100	16	52	81	1	1	818	166	16	181			
50	20	5	2	G	10	0	0	540	722	829	170	276	457	100	39	145	307	3	1	540	428	32	457			
50	20	5	2	S	10	0	0	583	755	900	98	243	416	100	26	133	359	5	1	583	391	26	416			
50	50	0	0	G	10	0	0	574	745	884	115	254	425	100	49	180	370	1	1	574	395	31	425			
50	50	0	0	S	10	0	0	656	802	871	128	197	343	100	57	127	280	1	1	656	290	54	343			
50	50	0	2	G	10	0	0	317	695	834	165	304	682	100	78	220	604	4	1	317	610	73	682			
50	50	0	2	S	10	0	0	209	607	882	117	392	790	100	54	314	710	6	1	209	737	54	790			
50	50	2	0	G	10	0	0	750	849	891	108	150	247	100	22	82	160	1	1	750	236	14	247			
50	50	2	0	S	10	0	0	694	850	928	70	149	305	100	22	88	249	0	1	694	285	21	305			
50	50	2	2	G	10	0	0	594	793	882	117	206	405	100	33	122	310	1	1	594	373	33	405			
50	50	2	2	S	10	0	0	605	773	853	146	226	394	100	53	134	248	1	1	605	347	48	394			
50	50	5	0	G	10	0	0	869	906	923	76	93	130	100	14	39	78	0	1	869	117	14	130			
50	50	5	0	S	10	0	0	861	899	939	60	100	138	100	15	41	82	0	1	861	124	15	138			
50	50	5	2	G	10	0	0	836	882	928	71	117	163	100	14	57	106	0	1	836	150	14	163			
50	50	5	2	S	10	0	0	798	859	916	83	140	198	100	34	75	126	1	1	798	174	28	198			

Elaborado pelo autor

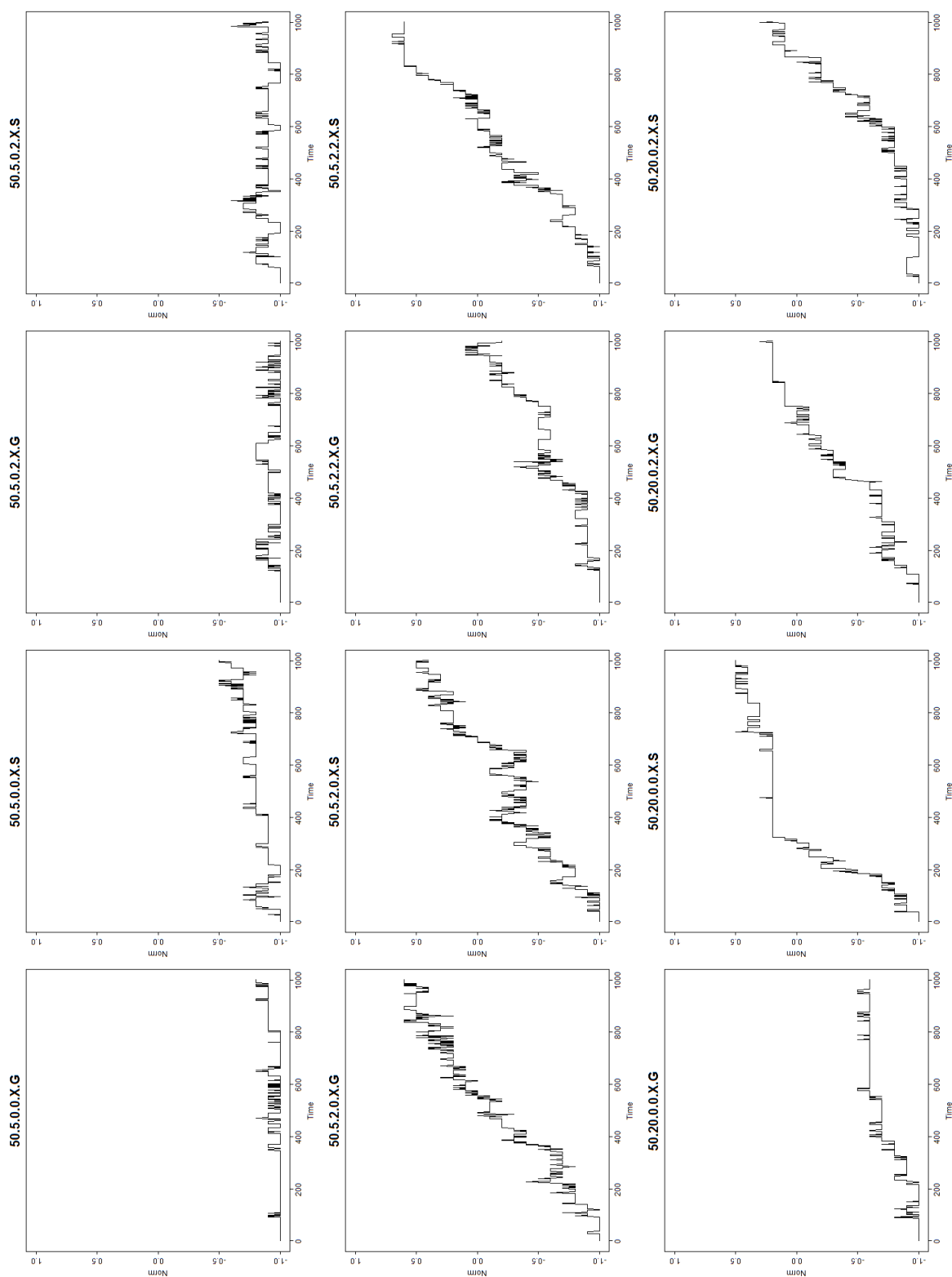


Figura 30. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 50%. Elaborado pelo autor.

**Tabela 11. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 80%.**

Instituição Exógena																									
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Min	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas															Norma Média					
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após			# ticks Colapsada			% ticks C após			# ticks		
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim. N	Min.	Médio	Máx.	prim. I	Final	N	I	C	Prim.		
80	0	0	0	G	0	2	8	-	7	70	839	984	1.000	43	473	899	992	68	-0,8	-	706	294	1.000		
80	0	0	0	S	0	0	10	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	692	912	1.000	57	-1	-	660	340	1.000		
80	5	0	0	G	2	1	7	-	78	550	431	909	1.000	86	112	731	1.000	31	-0,5	-	923	77	1.000		
80	5	0	0	S	1	2	7	-	48	484	503	950	1.000	97	73	777	1.000	48	-0,6	-	928	72	1.000		
80	5	0	2	G	1	0	9	-	34	344	655	966	1.000	100	485	897	1.000	59	-0,8	-	694	306	1.000		
80	5	0	2	S	1	1	8	-	81	812	187	919	1.000	100	41	861	997	63	-0,7	-	964	36	1.000		
80	5	2	0	G	5	2	3	-	251	712	284	744	1.000	98	62	545	948	34	0,2	-	951	49	1.000		
80	5	2	0	S	7	2	1	-	209	575	424	789	1.000	99	70	440	867	34	0,6	-	987	13	1.000		
80	5	2	2	G	4	2	4	-	169	794	202	828	1.000	99	46	610	989	32	0	-	954	46	1.000		
80	5	2	2	S	5	3	2	-	180	569	430	812	1.000	96	241	601	910	36	0,3	-	876	124	1.000		
80	5	5	0	G	10	0	0	233	609	855	144	378	732	98	23	87	241	4	1	190	787	23	732		
80	5	5	0	S	10	0	0	352	617	819	180	371	647	98	46	96	252	5	1	326	646	28	647		
80	5	5	2	G	10	0	0	125	489	863	136	507	868	99	27	234	412	7	1	125	848	27	868		
80	5	5	2	S	9	1	0	-	558	765	234	441	1.000	100	21	193	620	5	0,9	-	979	21	1.000		
80	20	0	0	G	8	2	0	-	360	775	224	639	1.000	100	112	507	958	33	0,8	-	930	70	1.000		
80	20	0	0	S	8	1	1	-	383	781	218	616	1.000	100	147	471	1.000	12	0,7	-	854	146	1.000		
80	20	0	2	G	9	0	1	-	460	795	204	539	1.000	100	109	429	991	20	0,8	-	892	108	1.000		
80	20	0	2	S	6	1	3	-	301	818	181	699	1.000	100	108	585	960	26	0,3	-	897	103	1.000		
80	20	2	0	G	10	0	0	355	599	769	230	400	644	100	99	268	449	12	1	355	599	46	644		
80	20	2	0	S	10	0	0	131	651	897	102	348	868	100	16	211	643	13	1	131	853	16	868		
80	20	2	2	G	10	0	0	365	619	852	147	380	634	100	79	248	442	3	1	365	557	78	634		
80	20	2	2	S	10	0	0	158	514	831	168	484	841	100	79	375	721	11	1	158	766	76	841		
80	20	5	0	G	10	0	0	776	836	893	106	163	223	100	36	71	113	0	1	776	188	36	223		
80	20	5	0	S	10	0	0	833	865	903	96	134	164	100	18	50	79	0	1	833	149	18	164		
80	20	5	2	G	10	0	0	689	788	871	128	210	310	100	36	96	237	1	1	689	275	36	310		
80	20	5	2	S	10	0	0	571	788	901	98	211	428	100	46	113	310	2	1	571	383	46	428		
80	50	0	0	G	10	0	0	638	781	883	116	218	361	100	63	165	305	2	1	638	300	62	361		
80	50	0	0	S	10	0	0	542	786	915	84	213	457	100	34	158	401	5	1	542	424	34	457		
80	50	0	2	G	10	0	0	404	744	906	93	255	595	100	52	193	534	7	1	404	553	43	595		
80	50	0	2	S	10	0	0	182	634	916	83	365	817	100	36	294	761	5	1	182	782	36	817		
80	50	2	0	G	10	0	0	796	874	909	90	125	203	100	32	72	156	0	1	796	172	32	203		
80	50	2	0	S	10	0	0	752	855	916	83	144	247	100	38	91	187	0	1	752	217	31	247		
80	50	2	2	G	10	0	0	557	810	915	84	189	442	100	39	129	377	1	1	557	404	39	442		
80	50	2	2	S	10	0	0	639	818	937	62	181	360	100	13	121	313	1	1	639	348	13	360		
80	50	5	0	G	10	0	0	881	906	944	55	93	118	100	15	48	71	0	1	881	104	15	118		
80	50	5	0	S	10	0	0	894	919	936	63	80	105	100	23	37	57	0	1	894	84	22	105		
80	50	5	2	G	10	0	0	735	857	923	76	142	264	100	19	69	121	1	1	735	246	19	264		
80	50	5	2	S	10	0	0	840	892	920	79	107	159	100	17	53	102	1	1	840	144	16	159		

Elaborado pelo autor

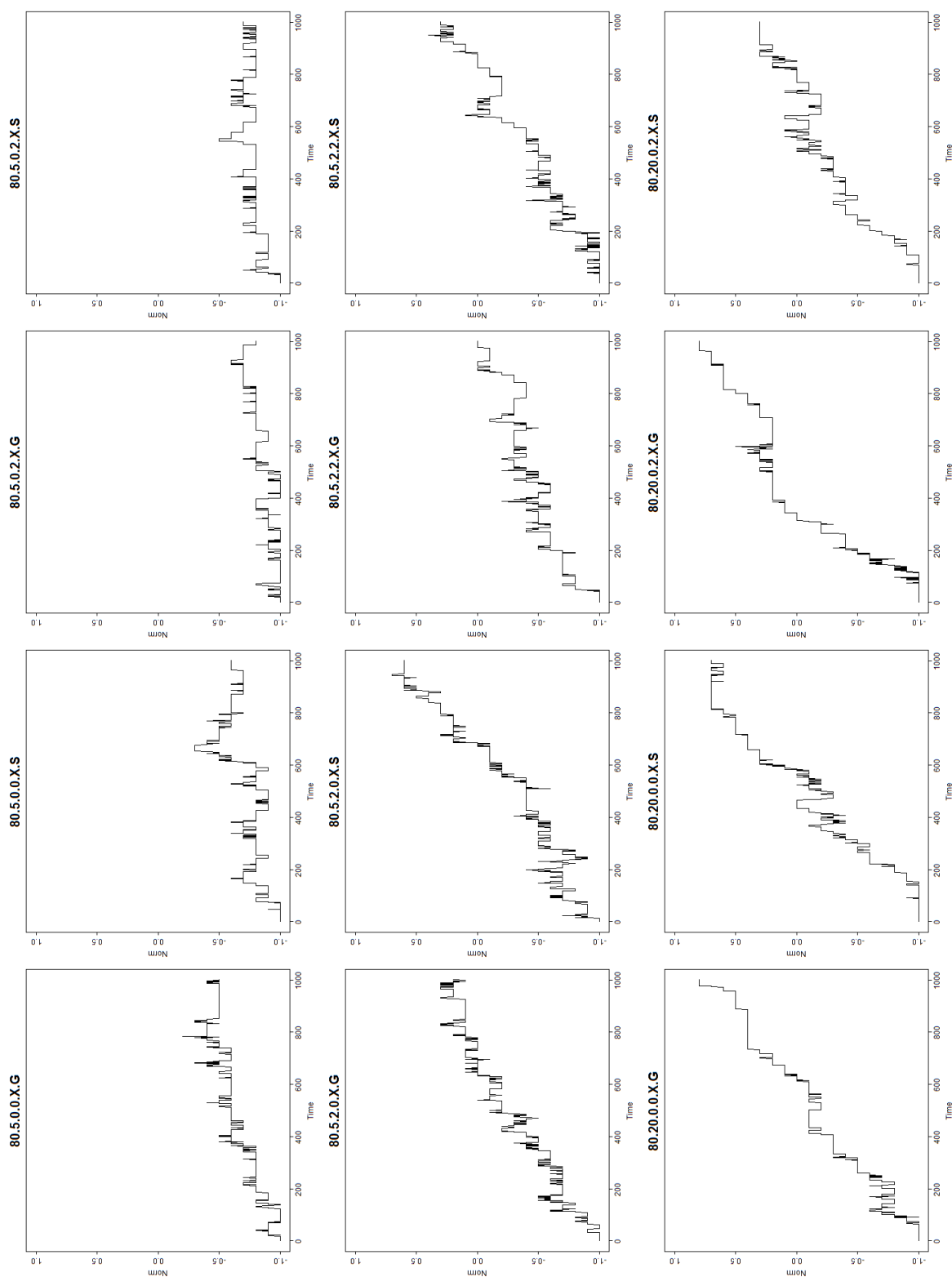


Figura 31. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 80%. Elaborado pelo autor.

**Tabela 12. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 20%.**

Instituição Endógena																										
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Mín	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas															Norma Média						
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após			# ticks Colapsada			% ticks C após			# ticks			
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim.	N	Min.	Médio	Máx.	prim.	I	Final	N	I	C	Prim.	
20	0	0	0	G	0	7	3	-	2	18	969	997	1.000	58	24	406	718	29	-0,3	-	981	19	1.000			
20	0	0	0	S	1	8	1	-	43	281	686	943	1.000	76	141	423	706	28	0	-	939	61	1.000			
20	5	0	0	G	5	4	1	-	109	382	433	784	1.000	50	64	242	754	14	0,4	-	985	15	1.000			
20	5	0	0	S	10	0	0	19	312	654	281	639	980	87	56	287	701	13	1	4	948	48	995			
20	5	0	2	G	3	7	0	-	137	368	361	771	1.000	60	41	187	371	11	0,3	-	970	30	1.000			
20	5	0	2	S	6	2	2	-	224	615	336	739	1.000	86	124	343	727	22	0,4	-	934	66	1.000			
20	5	2	0	G	4	6	0	-	178	442	284	695	1.000	58	34	109	276	4	0,4	-	969	31	1.000			
20	5	2	0	S	9	1	0	-	564	771	182	400	1.000	94	19	106	330	4	0,9	-	983	17	1.000			
20	5	2	2	G	5	5	0	-	228	434	371	615	1.000	59	6	133	255	6	0,5	-	994	6	1.000			
20	5	2	2	S	10	0	0	111	479	728	252	486	832	93	41	174	386	8	1	97	869	34	834			
20	5	5	0	G	5	5	0	176	327	521	225	521	785	68	28	53	126	2	0,5	1	973	26	786			
20	5	5	0	S	10	0	0	645	738	837	147	231	329	96	9	42	75	1	1	488	503	9	329			
20	5	5	2	G	5	5	0	277	390	632	209	384	685	63	34	69	109	2	0,5	21	956	23	784			
20	5	5	2	S	10	0	0	462	659	832	164	325	510	98	19	66	168	2	1	393	592	15	510			
20	20	0	0	G	9	1	0	-	461	679	312	515	1.000	95	8	127	299	4	0,9	-	992	8	1.000			
20	20	0	0	S	10	0	0	293	632	756	241	362	704	99	14	123	218	4	1	293	693	14	704			
20	20	0	2	G	9	0	1	-	526	758	240	465	1.000	98	21	152	505	6	0,8	-	979	21	1.000			
20	20	0	2	S	10	0	0	342	680	856	143	316	657	99	30	97	370	4	1	342	641	17	657			
20	20	2	0	G	10	0	0	446	608	782	213	379	544	98	33	68	95	3	1	418	558	24	562			
20	20	2	0	S	10	0	0	505	782	896	103	214	482	100	14	47	83	1	1	505	481	14	482			
20	20	2	2	G	10	0	0	323	627	782	217	358	660	98	46	88	223	3	1	323	637	40	660			
20	20	2	2	S	10	0	0	569	723	883	116	270	411	99	19	77	139	2	1	569	414	17	411			
20	20	5	0	G	10	0	0	401	674	785	211	310	597	98	14	40	73	1	1	391	596	13	597			
20	20	5	0	S	10	0	0	779	844	878	116	154	220	100	17	35	57	0	1	779	204	17	220			
20	20	5	2	G	10	0	0	388	600	754	240	387	577	98	30	65	110	1	1	386	588	26	577			
20	20	5	2	S	10	0	0	701	807	857	131	190	297	100	19	59	121	2	1	701	285	14	297			
20	50	0	0	G	10	0	0	560	728	880	118	268	427	99	16	82	218	1	1	560	424	16	427			
20	50	0	0	S	10	0	0	574	803	910	88	194	425	100	18	78	265	3	1	574	409	17	425			
20	50	0	2	G	10	0	0	42	559	917	82	436	927	99	5	87	210	4	1	42	953	5	927			
20	50	0	2	S	10	0	0	623	786	884	114	212	373	100	25	90	185	2	1	623	352	25	373			
20	50	2	0	G	10	0	0	704	806	872	123	183	254	99	25	55	88	1	1	690	285	25	254			
20	50	2	0	S	10	0	0	758	844	909	90	154	241	100	19	67	155	1	1	758	225	17	241			
20	50	2	2	G	10	0	0	479	718	873	126	269	519	98	14	77	219	2	1	476	510	14	520			
20	50	2	2	S	10	0	0	806	848	872	127	150	193	100	24	59	88	1	1	806	170	24	193			
20	50	5	0	G	10	0	0	819	867	897	102	130	173	100	16	30	60	1	1	819	166	15	173			
20	50	5	0	S	10	0	0	877	902	931	65	96	122	100	14	36	69	0	1	877	109	14	122			
20	50	5	2	G	10	0	0	731	806	886	110	184	264	99	14	50	139	1	1	731	256	13	264			
20	50	5	2	S	10	0	0	813	861	908	91	137	185	100	22	45	65	1	1	813	169	18	185			

Elaborado pelo autor

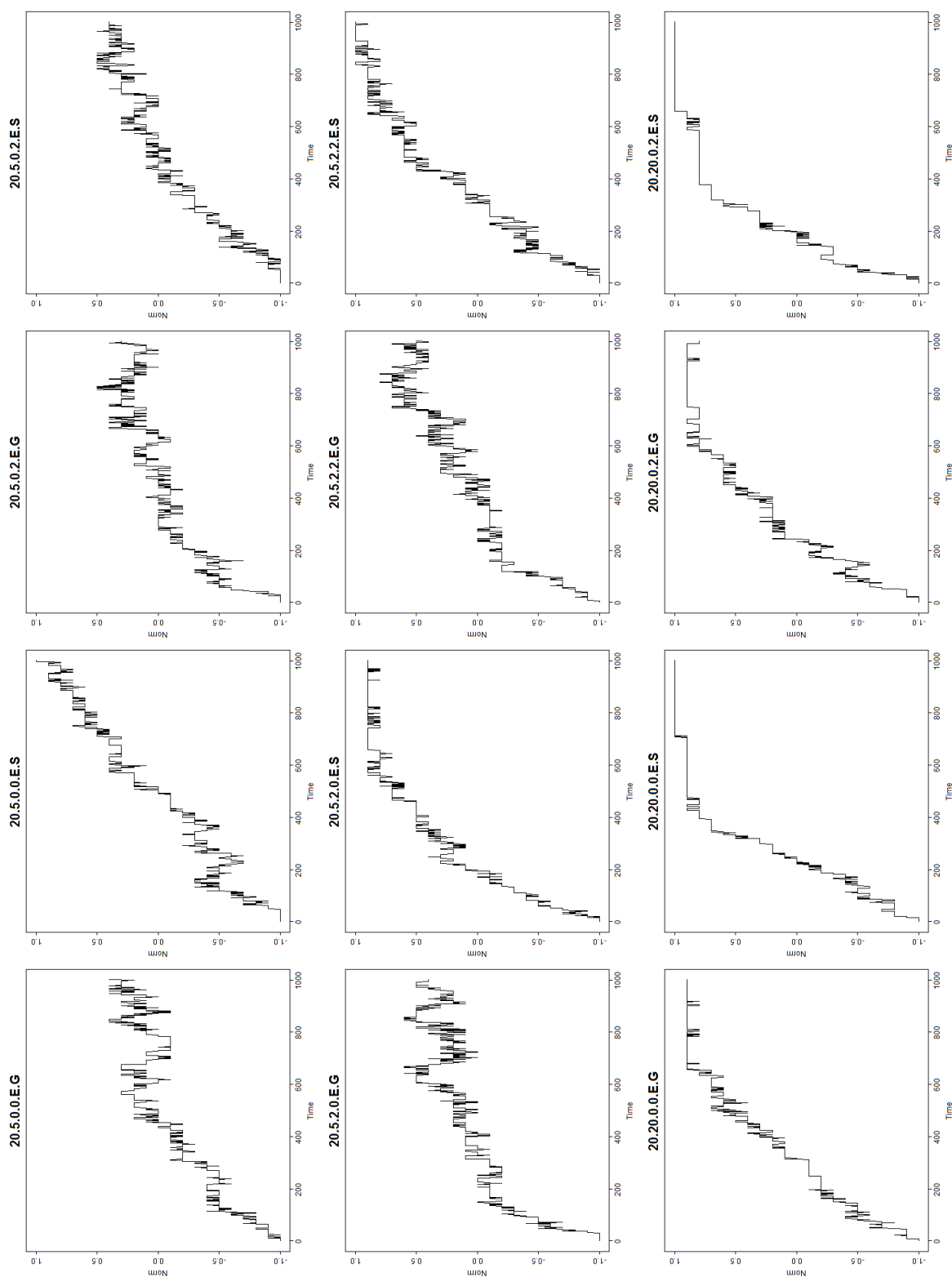


Figura 32. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 20%. Elaborado pelo autor.

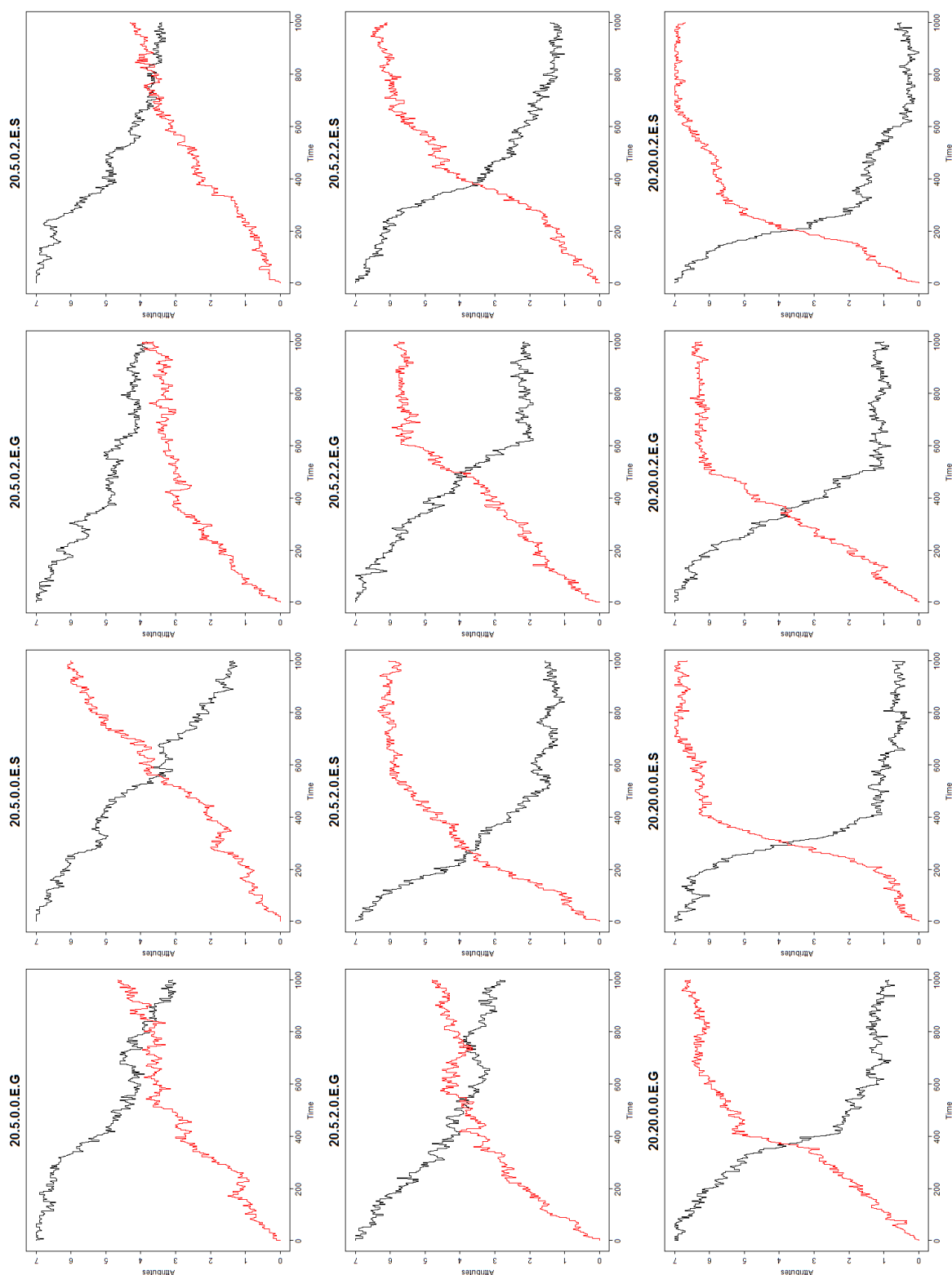


Figura 33. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 1.000 gerações, Densidade Populacional 20%, Atributos Médios da Instituição Endógena na rodada de simulações: “ousadia” (linha preta) e “vingança” (linha vermelha). Elaborado pelo autor.



**Tabela 13. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 50%.**

Instituição Endógena																									
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Min	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas															Norma Média					
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após			# ticks Colapsada			% ticks C após			# ticks		
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim. N	Min.	Médio	Máx.	prim. I	Final	N	I	C	Prim.		
50	0	0	0	G	0	0	10	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	837	953	1.000	41	-1	-	385	615	1.000		
50	0	0	0	S	0	1	9	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	875	967	1.000	37	-0,9	-	316	684	1.000		
50	5	0	0	G	0	0	10	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	919	979	1.000	49	-1	-	203	797	1.000		
50	5	0	0	S	0	2	8	-	12	121	844	984	1.000	78	600	921	1.000	34	-0,8	-	625	375	1.000		
50	5	0	2	G	0	1	9	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	653	927	1.000	42	-0,9	-	538	462	1.000		
50	5	0	2	S	1	1	8	-	13	132	866	987	1.000	99	687	929	1.000	32	-0,7	-	502	498	1.000		
50	5	2	0	G	6	3	1	-	187	613	365	805	1.000	96	134	576	917	36	0,5	-	915	85	1.000		
50	5	2	0	S	6	3	1	-	286	778	188	709	1.000	99	115	525	953	29	0,5	-	915	85	1.000		
50	5	2	2	G	3	3	4	-	92	552	413	903	1.000	94	191	702	1.000	42	-0,1	-	933	67	1.000		
50	5	2	2	S	4	3	3	-	161	562	437	838	1.000	99	182	653	974	42	0,1	-	953	47	1.000		
50	5	5	0	G	9	1	0	235	611	814	173	380	756	99	35	140	378	7	0,9	222	750	28	756		
50	5	5	0	S	10	0	0	445	638	817	171	344	509	97	49	119	203	4	1	418	549	33	549		
50	5	5	2	G	10	0	0	160	568	838	159	430	839	100	34	258	654	12	1	158	808	34	839		
50	5	5	2	S	9	1	0	477	797	202	519	1.000	99	66	289	722	14	0,9	-	944	56	1.000			
50	20	0	0	G	7	1	2	-	254	711	288	746	1.000	100	144	591	988	35	0,5	-	917	83	1.000		
50	20	0	0	S	8	0	2	-	450	768	231	549	1.000	100	104	419	995	16	0,6	-	909	91	1.000		
50	20	0	2	G	8	1	1	-	247	836	163	752	1.000	100	42	598	989	20	0,7	-	961	39	1.000		
50	20	0	2	S	8	0	2	-	325	605	394	674	1.000	100	275	526	955	20	0,6	-	808	192	1.000		
50	20	2	0	G	10	0	0	466	699	848	151	299	533	100	69	177	345	2	1	466	470	65	533		
50	20	2	0	S	10	0	0	577	687	784	215	311	422	100	26	191	330	6	1	577	398	25	422		
50	20	2	2	G	9	0	1	-	558	789	209	440	1.000	100	27	272	897	13	0,8	-	973	27	1.000		
50	20	2	2	S	10	0	0	247	556	709	290	443	752	100	78	281	538	13	1	247	692	61	752		
50	20	5	0	G	10	0	0	783	860	917	82	138	214	100	17	44	111	0	1	783	200	17	214		
50	20	5	0	S	10	0	0	694	808	931	68	191	305	100	16	74	204	2	1	694	290	16	305		
50	20	5	2	G	10	0	0	518	721	848	151	278	481	100	60	153	372	4	1	518	425	57	481		
50	20	5	2	S	10	0	0	588	786	865	133	213	411	100	41	108	295	3	1	588	374	38	411		
50	50	0	0	G	10	0	0	617	778	887	112	221	382	100	46	150	307	1	1	617	337	46	382		
50	50	0	0	S	10	0	0	401	705	876	123	294	598	100	41	215	502	1	1	401	558	41	598		
50	50	0	2	G	10	0	0	448	686	830	169	313	551	100	70	211	393	3	1	448	496	57	551		
50	50	0	2	S	10	0	0	404	723	890	109	276	595	100	53	206	508	3	1	404	560	36	595		
50	50	2	0	G	10	0	0	642	812	896	103	187	357	100	30	116	299	2	1	642	328	30	357		
50	50	2	0	S	10	0	0	759	873	916	83	126	240	100	31	65	180	0	1	759	210	31	240		
50	50	2	2	G	10	0	0	490	777	887	112	222	507	100	54	134	407	3	1	490	464	47	507		
50	50	2	2	S	10	0	0	461	781	911	88	218	538	100	33	139	412	2	1	461	506	33	538		
50	50	5	0	G	10	0	0	830	891	928	71	108	169	100	24	44	79	1	1	830	147	23	169		
50	50	5	0	S	10	0	0	880	905	930	69	94	119	100	19	42	70	0	1	880	101	19	119		
50	50	5	2	G	10	0	0	759	843	902	97	156	240	100	51	94	168	0	1	759	191	50	240		
50	50	5	2	S	10	0	0	772	876	927	72	122	227	100	20	65	161	0	1	772	208	20	227		

Elaborado pelo autor

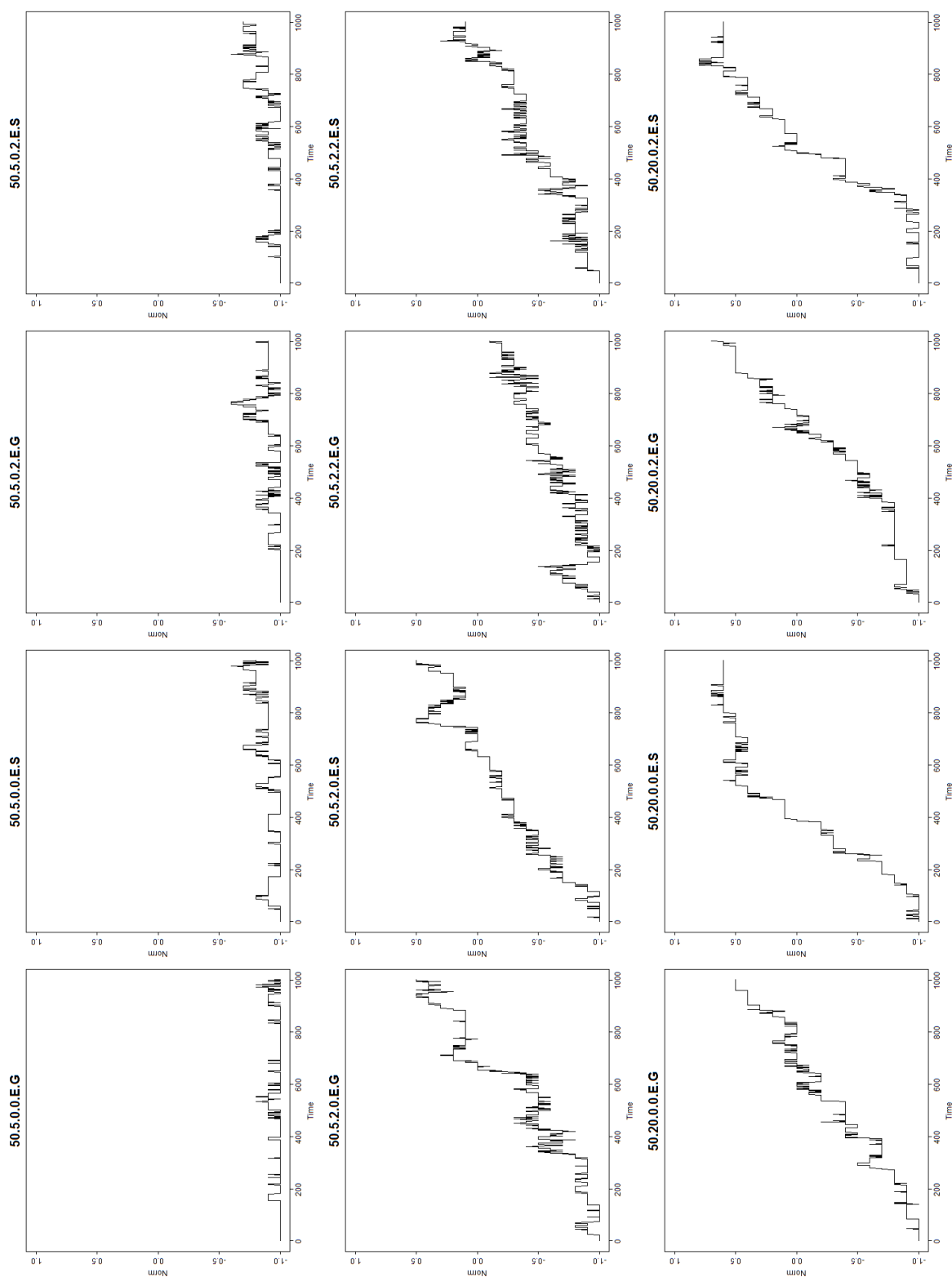


Figura 34. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 50%. Elaborado pelo autor.

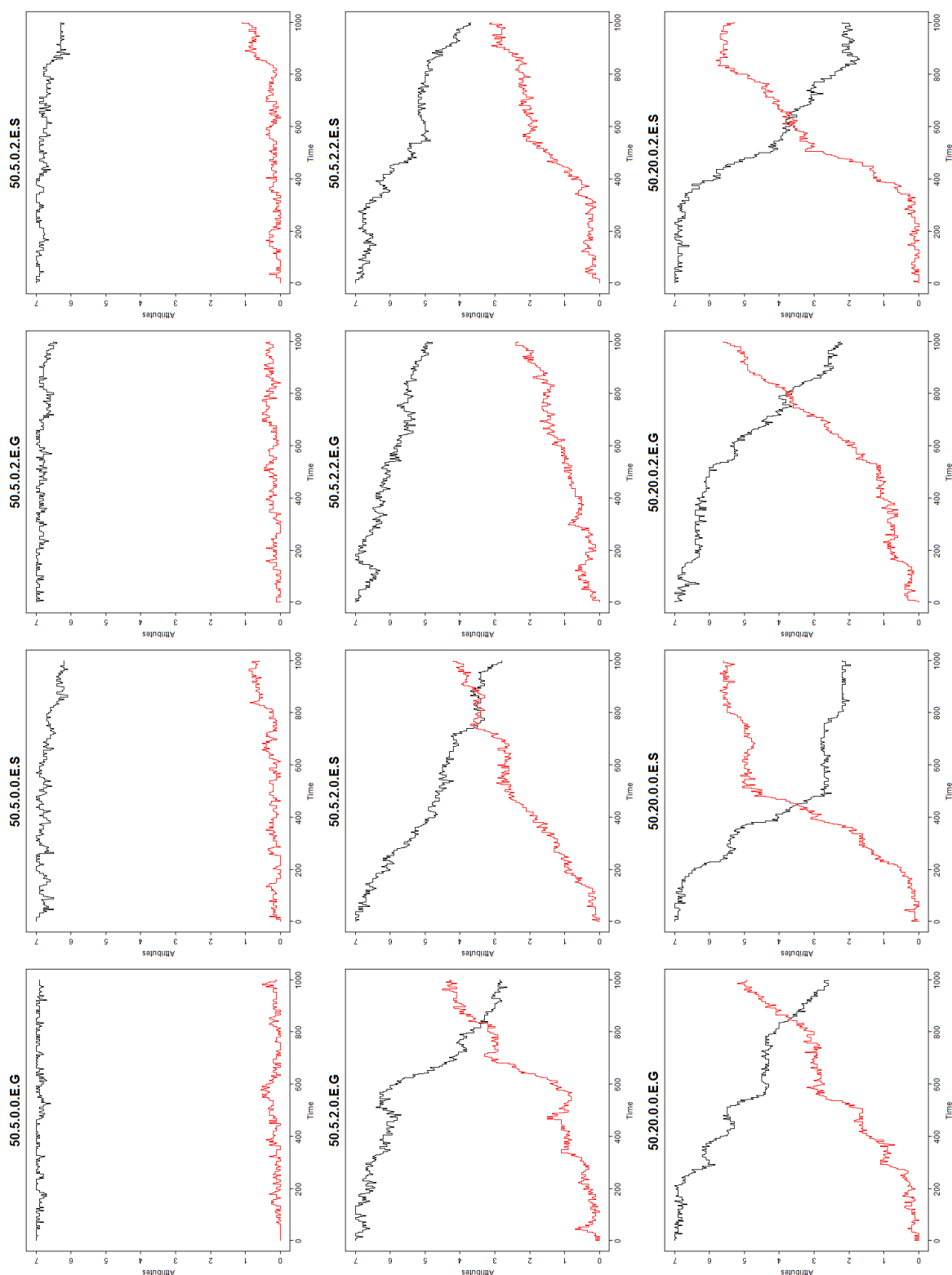


Figura 35. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 1.000 gerações, Densidade Populacional 50%, Atributos Médios da Instituição Endógena na rodada de simulações: “ousadia” (linha preta) e “vingança” (linha vermelha). Elaborado pelo autor.

**Tabela 14. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 80%.**

Instituição Endógena																									
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Min	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas															Norma Média					
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após			# ticks Colapsada			% ticks C após			# ticks		
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim. N	Min.	Médio	Máx.	prim. I	Final	N	I	C	Prim.		
80	0	0	0	G	0	2	8	-	7	70	839	984	1.000	-	43	473	899	992	68	-0,8	-	706	294	1.000	
80	0	0	0	S	0	0	10	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	-	692	912	1.000	57	-1	-	660	340	1.000	
80	5	0	0	G	0	0	10	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	-	752	927	1.000	65	-1	-	500	500	1.000	
80	5	0	0	S	0	1	9	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	-	699	895	987	60	-0,9	-	682	318	1.000	
80	5	0	2	G	0	1	9	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	-	414	907	1.000	41	-0,9	-	809	191	1.000	
80	5	0	2	S	0	2	8	-	-	-	1.000	1.000	1.000	-	-	706	946	998	45	-0,8	-	456	544	1.000	
80	5	2	0	G	6	3	1	-	252	704	242	736	1.000	95	68	442	843	36	0,5	-	943	57	1.000		
80	5	2	0	S	5	3	2	-	152	622	264	824	1.000	87	56	495	797	36	0,3	-	949	51	1.000		
80	5	2	2	G	1	2	7	-	55	548	445	944	1.000	99	322	855	998	58	-0,6	-	860	140	1.000		
80	5	2	2	S	4	4	2	-	181	732	265	807	1.000	94	91	645	940	38	0,2	-	926	74	1.000		
80	5	5	0	G	10	0	0	409	642	779	216	340	590	97	44	127	252	5	1	409	548	43	590		
80	5	5	0	S	9	1	0	562	696	770	229	297	437	99	35	73	122	2	0,9	513	452	35	437		
80	5	5	2	G	9	1	0	-	502	738	261	497	1.000	100	61	211	521	9	0,9	-	953	47	1.000		
80	5	5	2	S	10	0	0	289	548	743	237	434	690	97	40	186	402	12	1	233	729	38	690		
80	20	0	0	G	8	0	2	-	472	829	170	527	1.000	100	12	424	999	18	0,6	-	988	12	1.000		
80	20	0	0	S	9	0	1	-	590	767	232	409	1.000	100	76	292	966	10	0,8	-	924	76	1.000		
80	20	0	2	G	5	0	5	-	294	838	161	705	1.000	100	32	573	987	30	0	-	968	32	1.000		
80	20	0	2	S	8	0	2	-	429	866	133	571	1.000	100	29	456	983	24	0,6	-	974	26	1.000		
80	20	2	0	G	10	0	0	529	732	879	120	267	470	100	37	161	385	3	1	529	434	37	470		
80	20	2	0	S	10	0	0	587	777	864	135	222	412	100	39	119	314	5	1	587	375	38	412		
80	20	2	2	G	10	0	0	449	716	879	120	283	550	100	23	179	411	5	1	449	528	23	550		
80	20	2	2	S	10	0	0	188	535	801	198	463	811	100	51	289	698	6	1	188	791	21	811		
80	20	5	0	G	10	0	0	793	870	909	90	129	206	100	19	44	88	0	1	793	188	19	206		
80	20	5	0	S	10	0	0	697	833	932	67	166	302	100	25	80	133	2	1	697	278	25	302		
80	20	5	2	G	10	0	0	660	775	876	123	224	339	100	54	117	210	2	1	660	294	46	339		
80	20	5	2	S	10	0	0	650	802	901	98	197	349	100	13	111	243	1	1	650	337	13	349		
80	50	0	0	G	10	0	0	538	773	899	100	226	461	100	52	163	386	1	1	538	410	52	461		
80	50	0	0	S	10	0	0	212	771	929	70	228	787	100	25	172	735	1	1	212	763	25	787		
80	50	0	2	G	10	0	0	400	710	929	70	289	599	100	18	223	522	3	1	400	582	18	599		
80	50	0	2	S	10	0	0	496	742	908	91	257	503	100	38	195	389	1	1	496	467	38	503		
80	50	2	0	G	10	0	0	811	861	906	93	138	188	100	56	84	121	1	1	811	136	53	188		
80	50	2	0	S	10	0	0	771	875	919	80	124	228	100	45	75	184	1	1	771	191	38	228		
80	50	2	2	G	10	0	0	617	792	890	109	207	382	100	29	145	318	1	1	617	354	29	382		
80	50	2	2	S	10	0	0	215	787	918	81	212	784	100	35	156	717	0	1	215	750	35	784		
80	50	5	0	G	10	0	0	900	920	944	55	79	99	100	14	35	54	0	1	900	86	14	99		
80	50	5	0	S	10	0	0	891	915	945	54	84	108	100	21	44	62	0	1	891	88	21	108		
80	50	5	2	G	10	0	0	833	882	932	67	117	166	100	20	61	89	1	1	833	148	19	166		
80	50	5	2	S	10	0	0	835	896	935	64	103	164	100	23	59	126	0	1	835	142	23	164		

Elaborado pelo autor

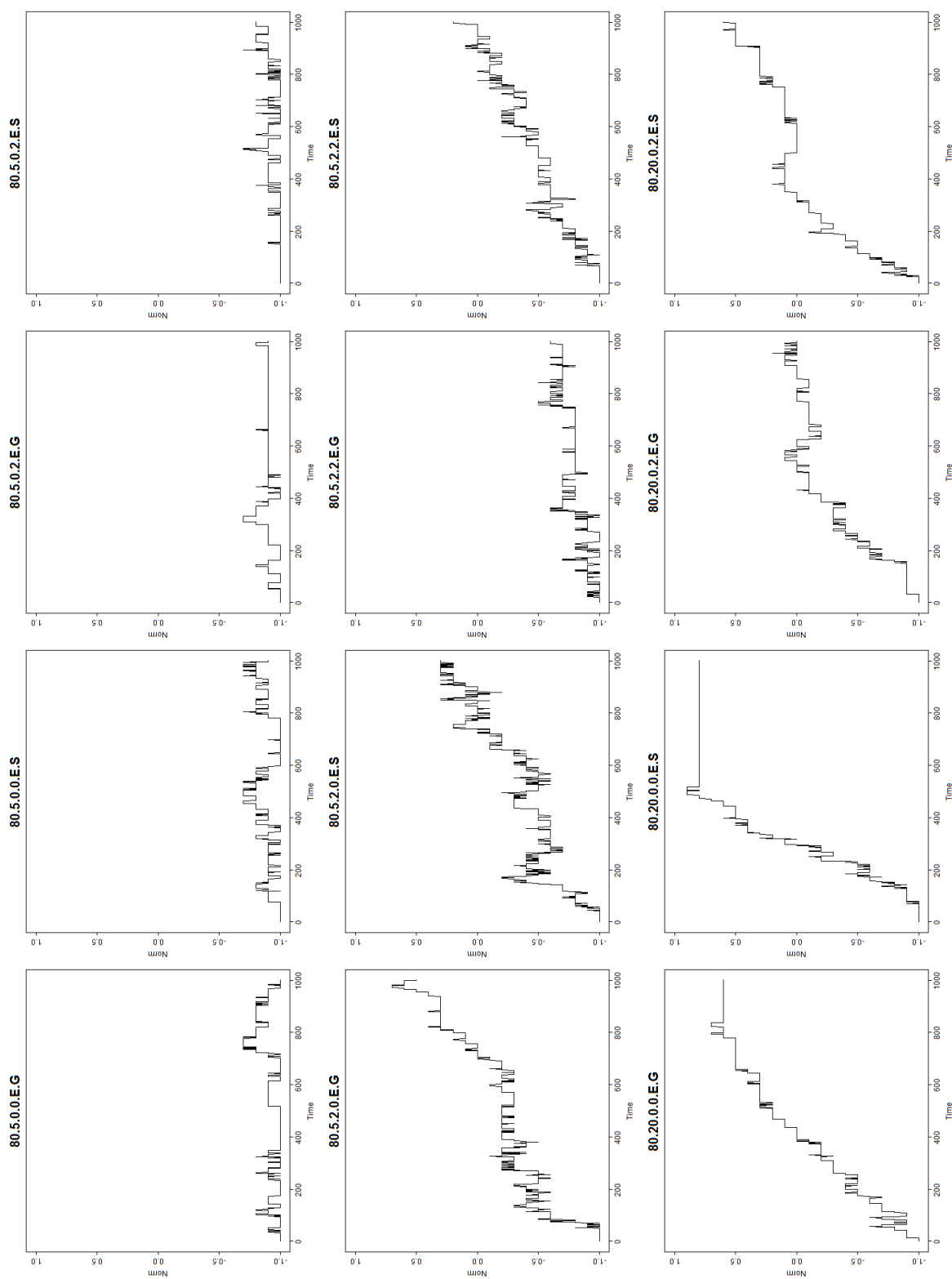


Figura 36. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 1.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 80%. Elaborado pelo autor.

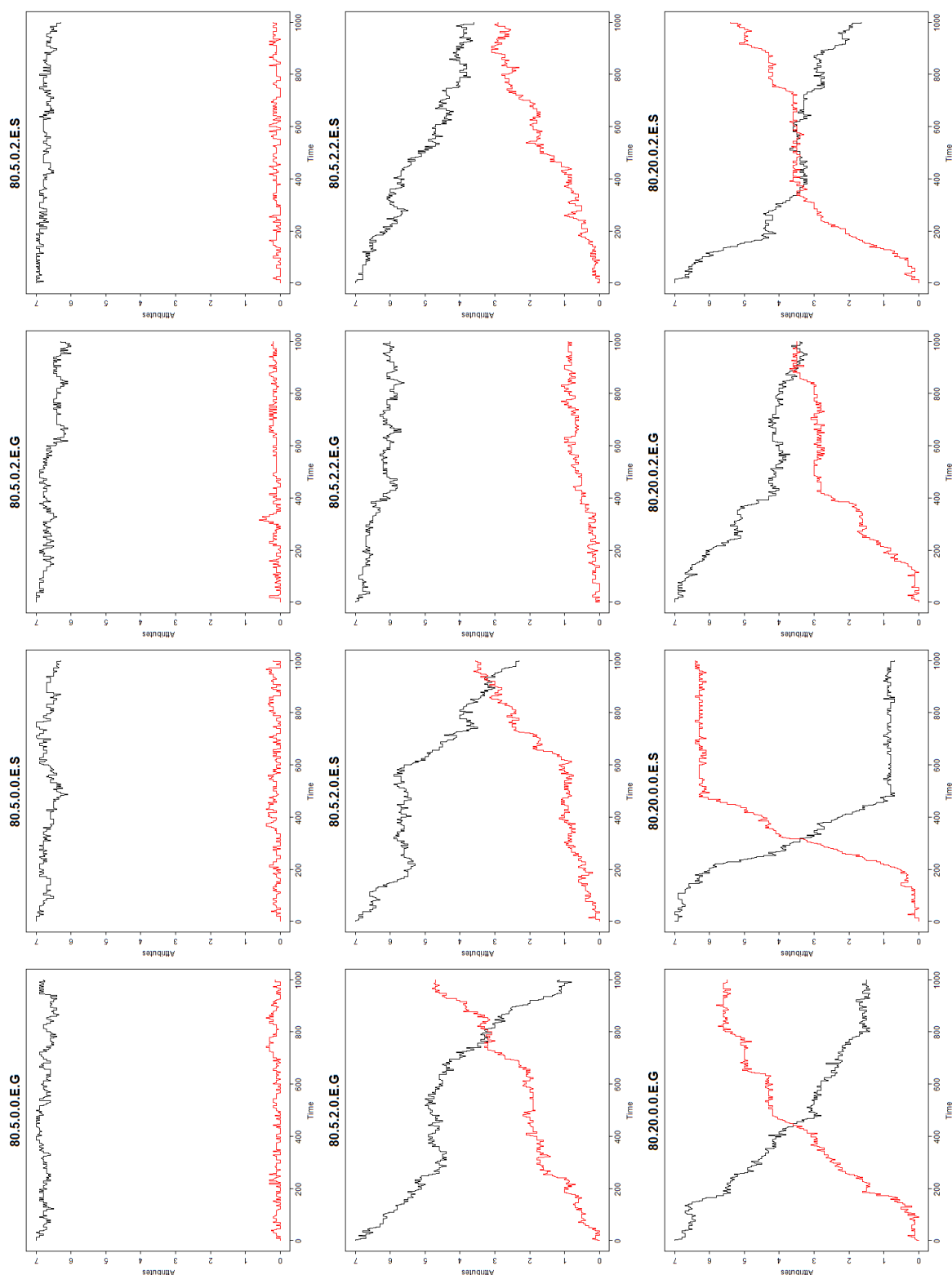


Figura 37. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 1.000 gerações, Densidade Populacional 80%, Atributos Médios da Instituição Endógena na rodada de simulações: “ousadia” (linha preta) e “vingança” (linha vermelha). Elaborado pelo autor.

**Tabela 15. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidades Populacionais 20%, 50% e 80%.**

Instituição Exógena																								
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Min	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas															Norma Média				
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após prim. N	# ticks Colapsada			% ticks C após prim. I		# ticks				
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	Final	N	I	C	Prim.
20	0	0	0	G	0	10	0	56	459	814	470	2.349	7.936	6	146	439	1.259	3	0	-	9.981	19	10.000	
20	0	0	0	S	3	7	0	786	2.253	3.040	261	769	1.457	24	17	363	932	3	0,3	-	9.983	17	10.000	
20	5	0	0	G	0	10	0	150	641	1.046	530	2.070	5.311	8	107	651	2.849	5	0	-	9.964	36	10.000	
20	5	0	0	S	2	8	0	1.109	1.939	3.511	556	1.717	3.042	23	318	1.100	2.042	9	0,2	-	9.965	35	10.000	
20	5	0	2	G	0	9	1	-	466	872	825	2.707	10.000	6	80	906	3.429	8	-0,1	-	9.982	18	10.000	
20	5	0	2	S	1	9	0	800	1.883	2.799	432	1.538	4.377	22	93	778	1.357	7	0,1	-	9.968	32	10.000	
20	5	2	0	G	1	9	0	109	460	869	1.128	2.228	4.202	6	80	958	2.074	9	0,1	-	9.972	28	10.000	
20	5	2	0	S	2	7	1	1.000	2.073	3.973	404	1.594	2.501	25	206	947	1.987	9	0,1	-	9.980	20	10.000	
20	5	2	2	G	0	8	2	-	353	846	466	5.115	10.000	7	190	1.121	3.337	10	-0,2	-	9.981	19	10.000	
20	5	2	2	S	1	6	3	1.148	2.310	4.895	478	1.664	2.956	28	158	1.140	2.588	10	-0,2	-	9.977	23	10.000	
20	20	0	0	G	0	10	0	-	296	985	2.359	6.505	10.000	8	542	1.487	3.063	13	0	-	9.927	73	10.000	
20	20	0	0	S	1	5	4	383	1.333	2.719	360	2.015	4.464	17	406	1.223	1.875	11	-0,3	-	9.947	53	10.000	
20	20	0	2	G	1	8	1	-	466	1.158	1.784	5.797	10.000	11	460	1.487	3.238	14	0	-	9.924	76	10.000	
20	20	0	2	S	2	7	1	-	1.048	2.467	768	4.600	10.000	19	266	1.552	4.109	14	0,1	-	9.975	25	10.000	
50	0	0	0	G	0	1	9	-	68	426	2.265	8.496	10.000	-	8.487	9.446	9.872	88	-0,9	-	4.210	5.790	10.000	
50	0	0	0	S	0	3	7	-	50	164	3.821	8.149	10.000	-	7.716	8.962	9.809	85	-0,7	-	5.862	4.138	10.000	
50	5	0	0	G	0	2	8	-	92	385	1.242	7.911	10.000	4	7.500	8.871	9.579	82	-0,8	-	7.032	2.968	10.000	
50	5	0	0	S	0	0	10	-	47	322	1.328	8.076	10.000	2	5.334	8.478	9.638	80	-1	-	8.537	1.463	10.000	
50	5	0	2	G	0	4	6	-	33	325	2.390	9.233	10.000	-	7.068	9.113	9.824	88	-0,6	-	5.946	4.054	10.000	
50	5	0	2	S	0	2	8	-	76	447	2.015	8.470	10.000	-	5.756	8.424	9.458	80	-0,8	-	8.633	1.367	10.000	
50	5	2	0	G	0	1	9	-	61	335	2.183	8.564	10.000	4	7.345	9.139	9.899	85	-0,9	-	6.077	3.923	10.000	
50	5	2	0	S	0	2	8	-	57	317	2.257	8.120	10.000	3	6.994	8.620	9.871	82	-0,8	-	7.337	2.663	10.000	
50	5	2	2	G	0	1	9	-	5	41	7.589	9.680	10.000	2	8.063	9.013	9.749	86	-0,9	-	6.762	3.238	10.000	
50	5	2	2	S	0	2	8	-	13	135	8.784	9.878	10.000	11	7.570	8.539	9.455	82	-0,8	-	7.736	2.264	10.000	
50	20	0	0	G	0	2	8	-	162	635	2.897	8.144	10.000	9	2.403	6.118	8.671	58	-0,8	-	9.729	271	10.000	
50	20	0	0	S	0	5	5	-	138	646	995	7.359	10.000	5	3.079	5.852	7.104	57	-0,5	-	9.904	96	10.000	
50	20	0	2	G	0	4	6	-	209	1.146	1.338	8.955	10.000	20	3.513	5.441	7.125	53	-0,6	-	9.922	78	10.000	
50	20	0	2	S	0	6	4	-	122	674	1.708	7.576	10.000	5	2.717	4.412	6.006	43	-0,4	-	9.900	100	10.000	
80	0	0	0	G	0	2	8	-	177	899	7.423	9.271	10.000	24	6.150	8.465	9.570	81	-0,8	-	6.396	3.604	10.000	
80	0	0	0	S	0	2	8	-	81	663	524	7.932	10.000	-	2.519	8.166	9.387	76	-0,8	-	9.084	916	10.000	
80	5	0	0	G	0	2	8	-	-	-	10.000	10.000	10.000	-	8.678	9.274	9.674	88	-0,8	-	5.191	4.809	10.000	
80	5	0	0	S	0	6	4	-	255	1.392	957	8.063	10.000	13	4.851	7.289	8.797	68	-0,4	-	9.471	529	10.000	
80	5	0	2	G	0	2	8	-	53	529	5.288	9.529	10.000	11	5.331	8.428	9.379	79	-0,8	-	8.374	1.626	10.000	
80	5	0	2	S	0	3	7	-	55	554	8.724	9.872	10.000	43	6.147	8.805	9.465	84	-0,7	-	7.535	2.465	10.000	
80	5	2	0	G	0	3	7	-	12	118	8.877	9.888	10.000	11	7.547	8.996	9.481	84	-0,7	-	6.818	3.182	10.000	
80	5	2	0	S	0	2	8	-	112	694	3.429	9.067	10.000	12	6.085	8.423	9.202	81	-0,8	-	8.324	1.676	10.000	
80	5	2	2	G	0	2	8	-	55	549	6.005	9.601	10.000	14	5.526	8.674	9.575	83	-0,8	-	7.880	2.120	10.000	
80	5	2	2	S	0	0	10	-	6	56	4.113	9.411	10.000	1	7.249	8.781	9.408	84	-1	-	7.557	2.443	10.000	
80	20	0	0	G	0	8	2	-	614	1.327	1.665	6.414	10.000	17	512	4.010	7.794	38	-0,2	-	9.935	65	10.000	
80	20	0	0	S	2	7	1	24	692	2.131	1.647	5.624	9.615	16	722	2.478	4.701	23	0,1	-	9.922	78	10.000	
80	20	0	2	G	2	6	2	-	1.880	4.222	1.624	5.960	10.000	47	724	2.378	6.510	23	0	-	9.911	89	10.000	
80	20	0	2	S	1	8	1	-	876	3.858	1.196	6.607	10.000	26	501	2.017	3.917	19	0	-	9.903	97	10.000	

Elaborado pelo autor

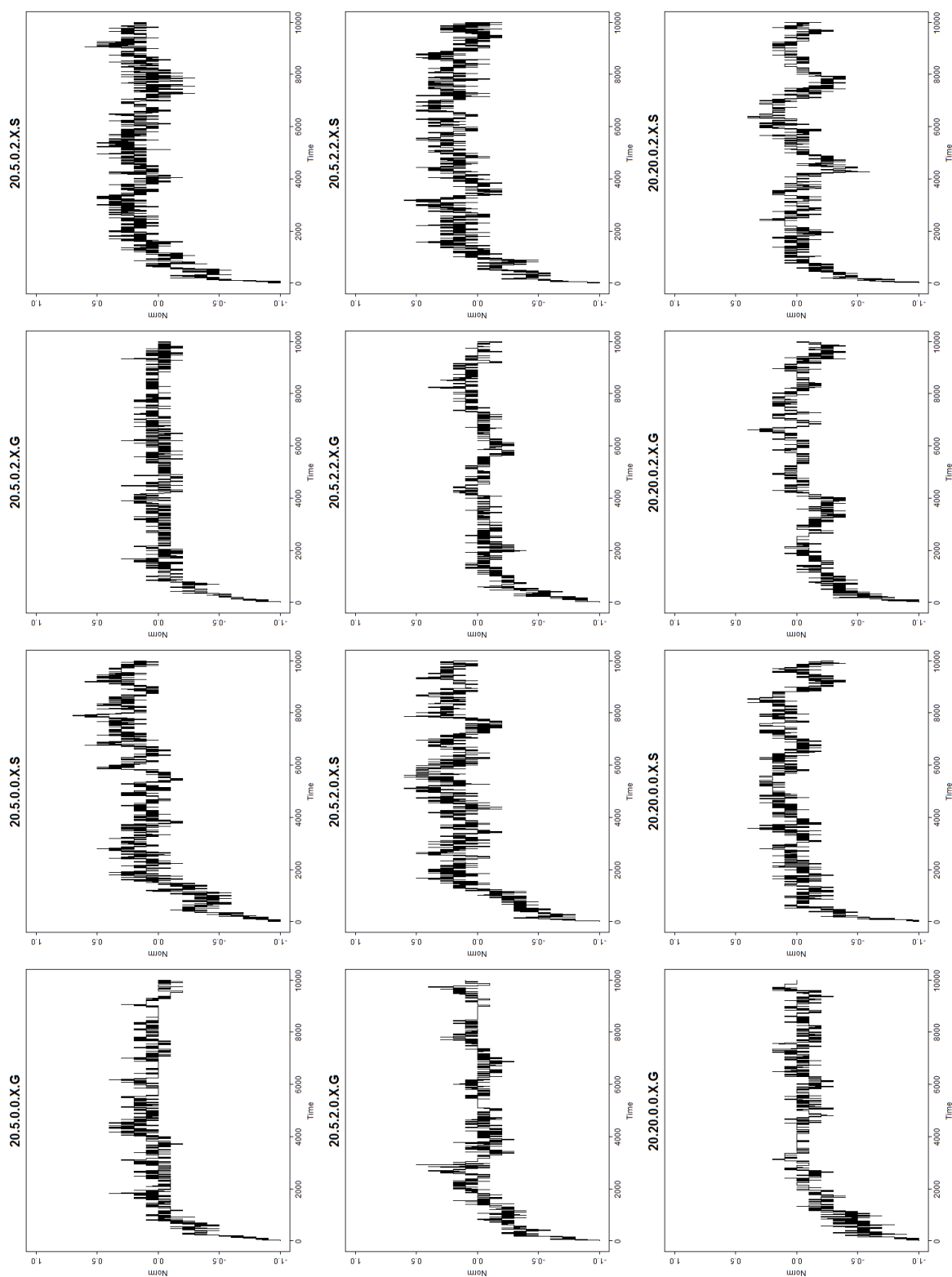


Figura 38. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 20%. Elaborado pelo autor.



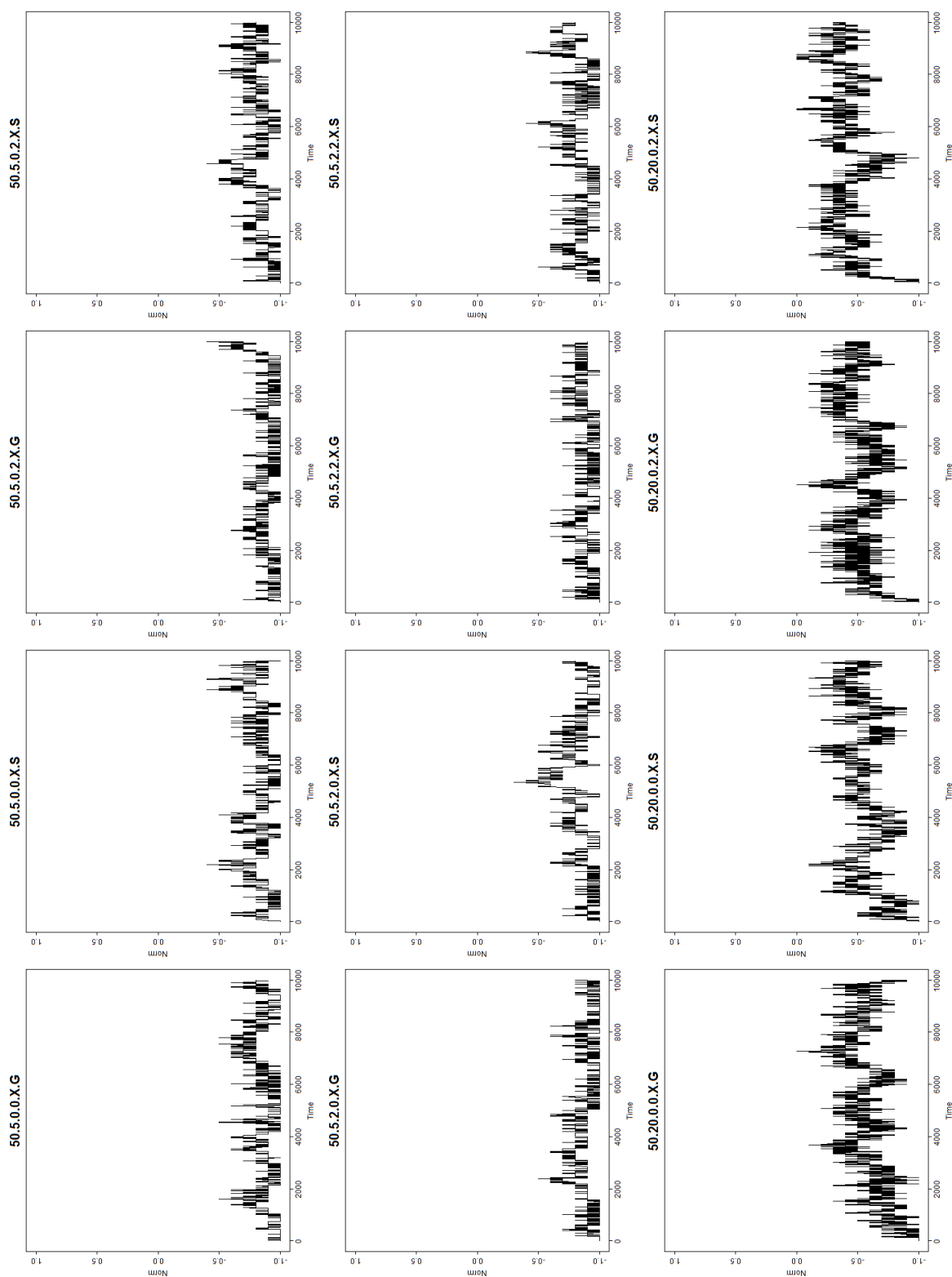


Figura 39. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 50%. Elaborado pelo autor.

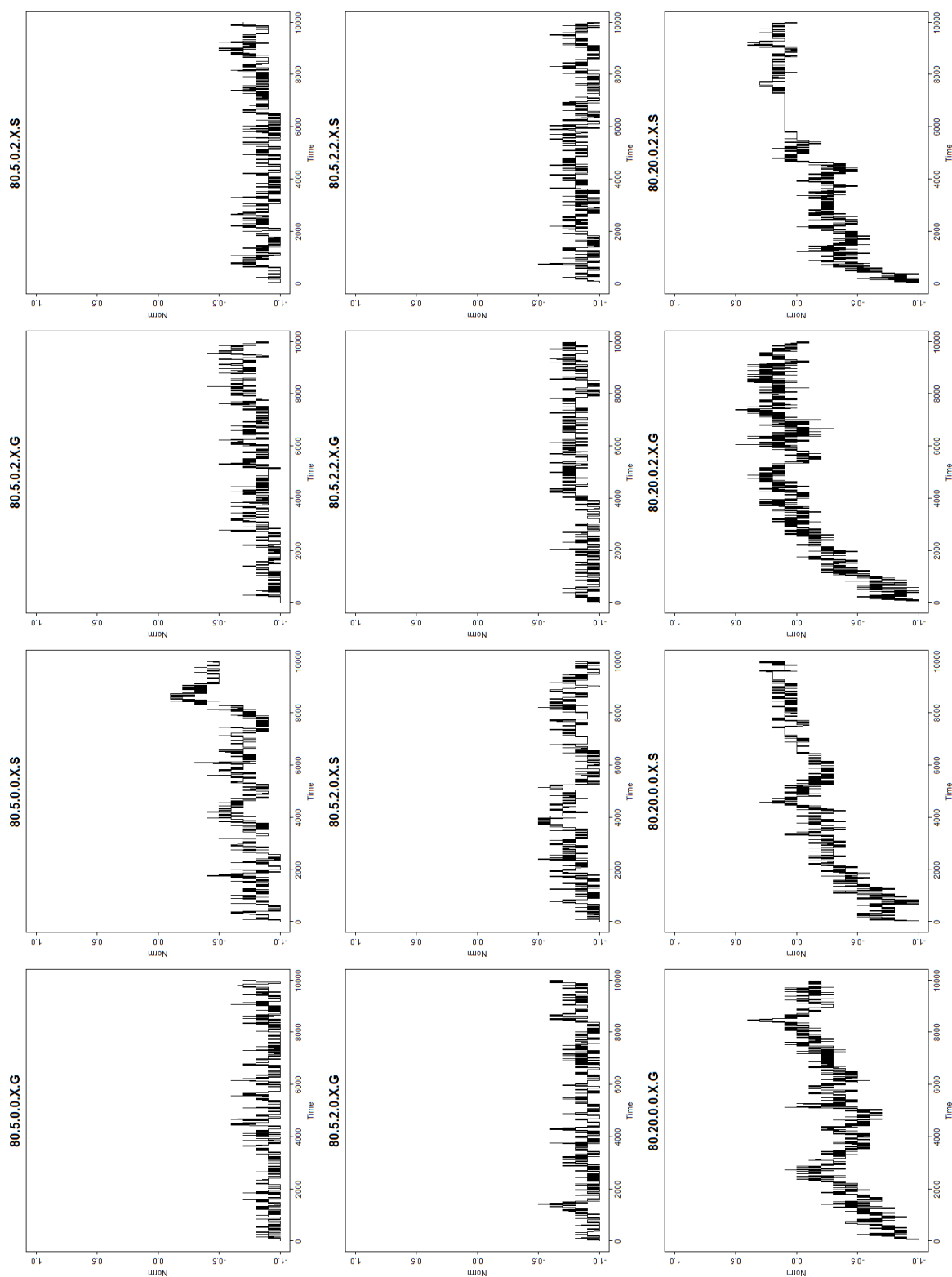


Figura 40. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Exógena, Densidade Populacional 80%. Elaborado pelo autor.

**Tabela 16. Estatísticas das Simulações – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidades Populacionais 20%, 50% e 80%.**

Instituição Endógena																									
Dens. Pop.	Peso Inst.	Peso Min	Seleção	Observação	Estatísticas das Rodadas														Norma Média						
					Norma			# ticks Norma			# ticks Prim. Norma			% ticks N após		# ticks Colapsada			% ticks C após		# ticks				
					N	I	C	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	prim.	N	Min.	Médio	Máx.	prim.	I	Final	N	I	C	Prim.
20	0	0	0	G	0	10	0	56	459	814	470	2.349	7.936	6	146	439	1.259	3	0	-	9.981	19	10.000		
20	0	0	0	S	3	7	0	786	2.253	3.040	261	769	1.457	24	17	363	932	3	0,3	-	9.983	17	10.000		
20	5	0	0	G	6	4	0	2.230	4.202	5.347	599	1.336	3.268	49	44	374	1.139	2	0,6	15	9.952	33	6.395		
20	5	0	0	S	10	0	0	6.656	8.193	8.751	249	659	1.483	88	79	250	885	1	1	2.349	7.592	59	1.602		
20	5	0	2	G	7	3	0	3.978	5.139	6.257	225	1.392	3.880	60	16	221	461	1	0,7	50	9.934	16	3.884		
20	5	0	2	S	10	0	0	8.529	8.911	9.105	327	560	730	94	36	167	363	0	1	5.447	4.517	36	753		
20	5	2	0	G	8	2	0	4.550	5.237	5.818	220	556	1.059	55	43	85	145	0	0,8	28	9.935	37	2.527		
20	5	2	0	S	8	2	0	8.615	8.900	9.408	279	442	701	93	30	143	321	0	0,8	4.648	5.322	30	704		
20	5	2	2	G	7	3	0	4.142	5.838	6.799	277	1.057	2.485	65	42	198	453	1	0,7	97	9.875	28	4.610		
20	5	2	2	S	10	0	0	8.529	9.134	9.635	215	536	839	97	13	198	517	1	1	6.381	3.606	13	839		
20	20	0	0	G	10	0	0	9.106	9.497	9.787	205	451	860	99	39	157	269	0	1	8.749	1.212	39	860		
20	20	0	0	S	10	0	0	9.482	9.701	9.847	152	295	517	100	47	90	152	0	1	9.481	474	45	517		
20	20	0	2	G	10	0	0	8.807	9.084	9.638	359	884	1.174	100	23	203	368	1	1	8.665	1.317	18	1.174		
20	20	0	2	S	10	0	0	9.154	9.596	9.847	152	401	829	100	41	135	265	0	1	9.154	806	40	829		
50	0	0	0	G	0	1	9	-	68	426	2.265	8.496	10.000	-	8.487	9.446	9.872	88	-0,9	-	4.210	5.790	10.000		
50	0	0	0	S	0	3	7	-	50	164	3.821	8.149	10.000	-	7.716	8.962	9.809	85	-0,7	-	5.862	4.138	10.000		
50	5	0	0	G	7	1	2	-	4.882	9.234	513	4.836	10.000	-	340	4.267	9.625	38	0,5	-	9.791	209	10.000		
50	5	0	0	S	10	0	0	1.979	6.204	9.030	890	3.614	8.004	97	451	3.172	7.548	28	1	1.227	8.488	285	8.047		
50	5	0	2	G	8	0	2	-	5.243	9.427	523	4.684	10.000	-	159	4.249	9.766	40	0,6	-	9.888	112	10.000		
50	5	0	2	S	10	0	0	346	5.706	9.362	604	4.228	9.653	99	416	3.772	9.316	34	1	299	9.501	200	9.653		
50	5	2	0	G	9	1	0	8.621	9.028	9.434	385	653	1.025	97	32	346	760	2	0,9	6.496	3.472	32	1.025		
50	5	2	0	S	9	1	0	8.726	9.079	9.490	352	668	1.098	97	92	374	709	2	0,9	7.027	2.937	36	1.098		
50	5	2	2	G	10	0	0	7.081	8.301	9.338	571	1.598	2.862	99	153	1.210	2.191	8	1	6.350	3.505	145	2.863		
50	5	2	2	S	10	0	0	8.082	8.703	9.601	388	1.251	1.893	99	194	899	1.398	5	1	7.674	2.165	161	1.899		
50	20	0	0	G	10	0	0	7.903	9.059	9.703	296	939	2.096	100	186	753	1.855	4	1	7.903	1.931	166	2.096		
50	20	0	0	S	10	0	0	8.782	9.354	9.835	164	643	1.217	100	58	494	1.070	1	1	8.782	1.160	58	1.217		
50	20	0	2	G	10	0	0	5.025	8.510	9.664	331	1.489	4.974	100	178	1.275	4.675	9	1	5.025	4.913	62	4.974		
50	20	0	2	S	10	0	0	7.571	8.671	9.526	473	1.328	2.428	100	310	1.111	2.290	7	1	7.571	2.226	203	2.428		
80	0	0	0	G	0	2	8	-	177	899	7.423	9.271	10.000	24	6.150	8.465	9.570	81	-0,8	-	6.396	3.604	10.000		
80	0	0	0	S	0	2	8	-	81	663	524	7.932	10.000	-	2.519	8.166	9.387	76	-0,8	-	9.084	916	10.000		
80	5	0	0	G	7	0	3	-	4.424	8.300	1.473	5.263	10.000	-	1.327	4.870	9.741	44	0,4	-	9.159	841	10.000		
80	5	0	0	S	8	2	0	-	5.426	8.212	1.447	4.186	10.000	-	945	3.442	9.268	31	0,8	-	9.841	159	10.000		
80	5	0	2	G	7	2	1	-	4.405	9.053	812	5.546	10.000	-	129	4.803	9.334	44	0,6	-	9.879	121	10.000		
80	5	0	2	S	10	0	0	2.129	6.665	8.899	1.028	3.229	7.859	-	727	2.623	6.654	22	1	1.815	7.796	389	7.859		
80	5	2	0	G	10	0	0	6.671	8.620	9.704	247	1.194	3.096	98	92	780	2.375	6	1	5.696	4.234	70	3.096		
80	5	2	0	S	9	1	0	7.441	9.120	9.718	154	707	2.503	98	51	314	1.075	2	0,9	6.296	3.655	49	2.503		
80	5	2	2	G	10	0	0	5.153	7.629	9.384	613	2.340	4.816	100	440	1.916	3.648	17	1	4.946	4.870	185	4.816		
80	5	2	2	S	10	0	0	8.487	9.254	9.839	160	711	1.494	100	50	348	1.104	2	1	8.198	1.755	47	1.494		
80	20	0	0	G	10	0	0	7.877	9.251	9.707	292	747	2.122	100	127	562	1.918	4	1	7.877	2.009	114	2.122		
80	20	0	0	S	10	0	0	9.124	9.454	9.709	290	545	875	100	129	391	679	1	1	9.124	748	128	875		
80	20	0	2	G	10	0	0	8.120	9.115	9.822	177	884	1.879	100	49	736	1.621	3	1	8.120	1.831	49	1.879		
80	20	0	2	S	10	0	0	7.954	9.145	9.769	230	854	2.045	100	124	695	1.835	4	1	7.954	1.932	114	2.045		

Elaborado pelo autor

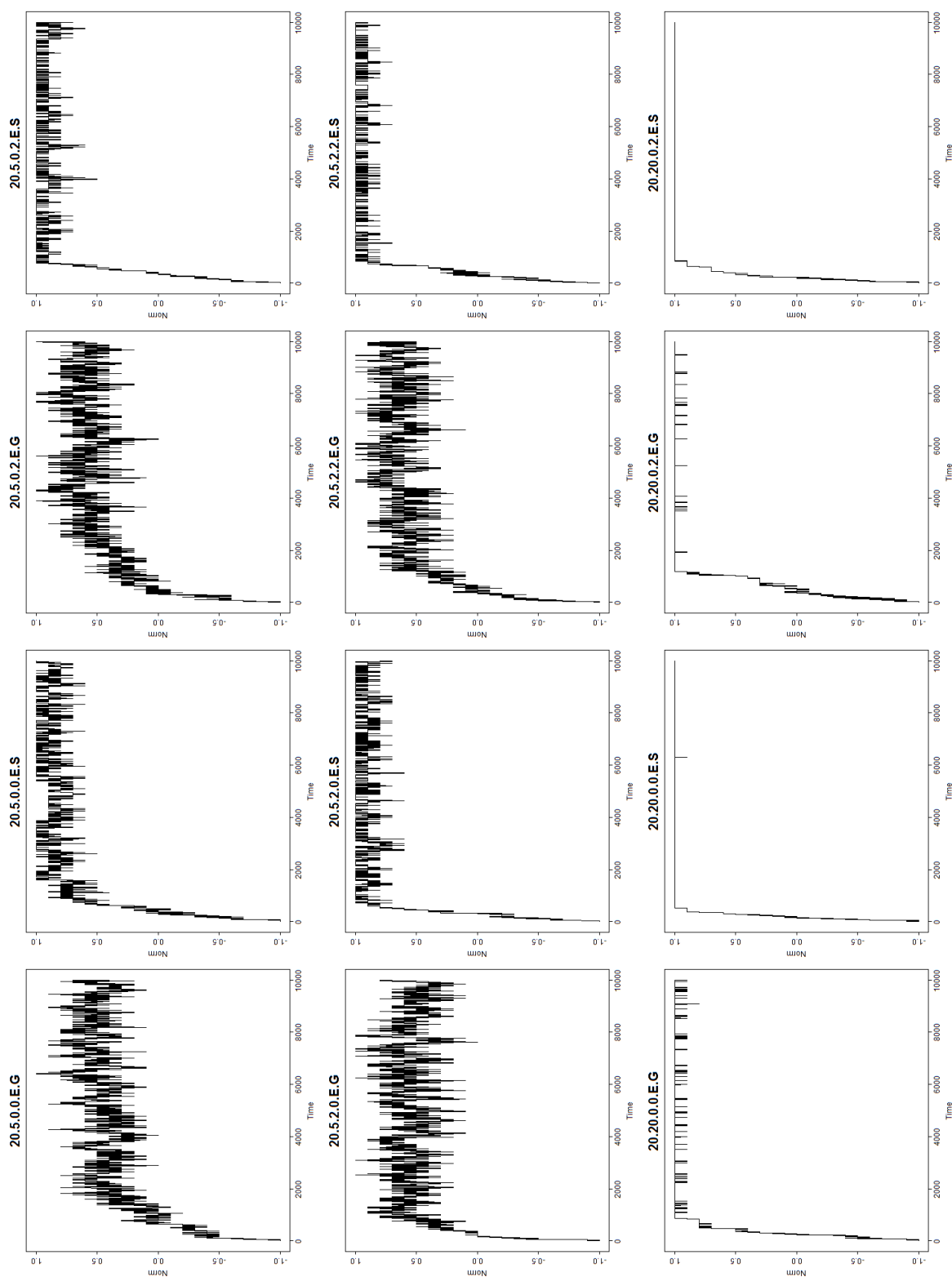


Figura 41. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 20%. Elaborado pelo autor.

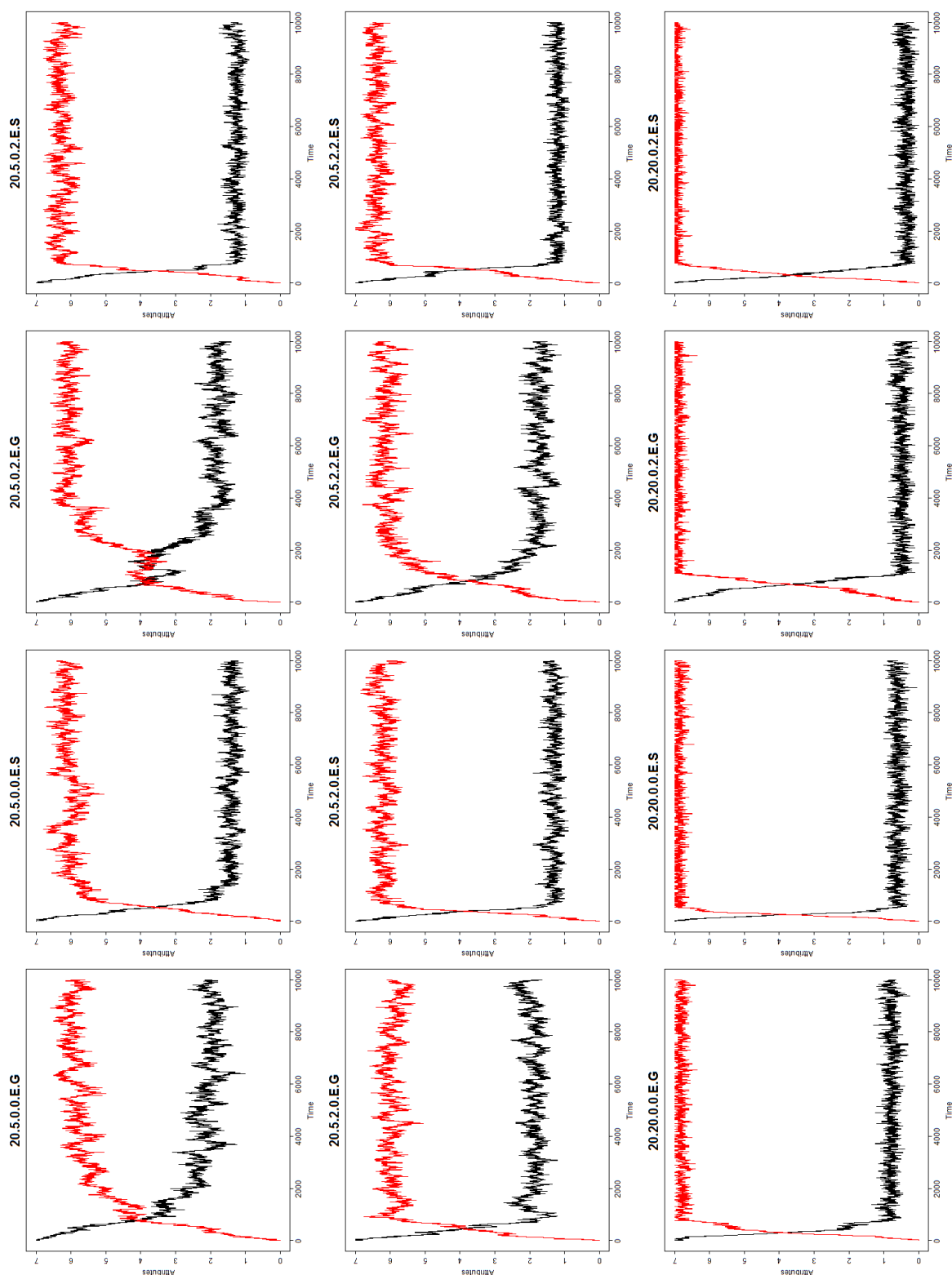


Figura 42. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 10.000 gerações, Densidade Populacional 20%, Atributos Médios da Instituição Endógena na rodada de simulações: “ousadia” (linha preta) e “vingança” (linha vermelha). Elaborado pelo autor.

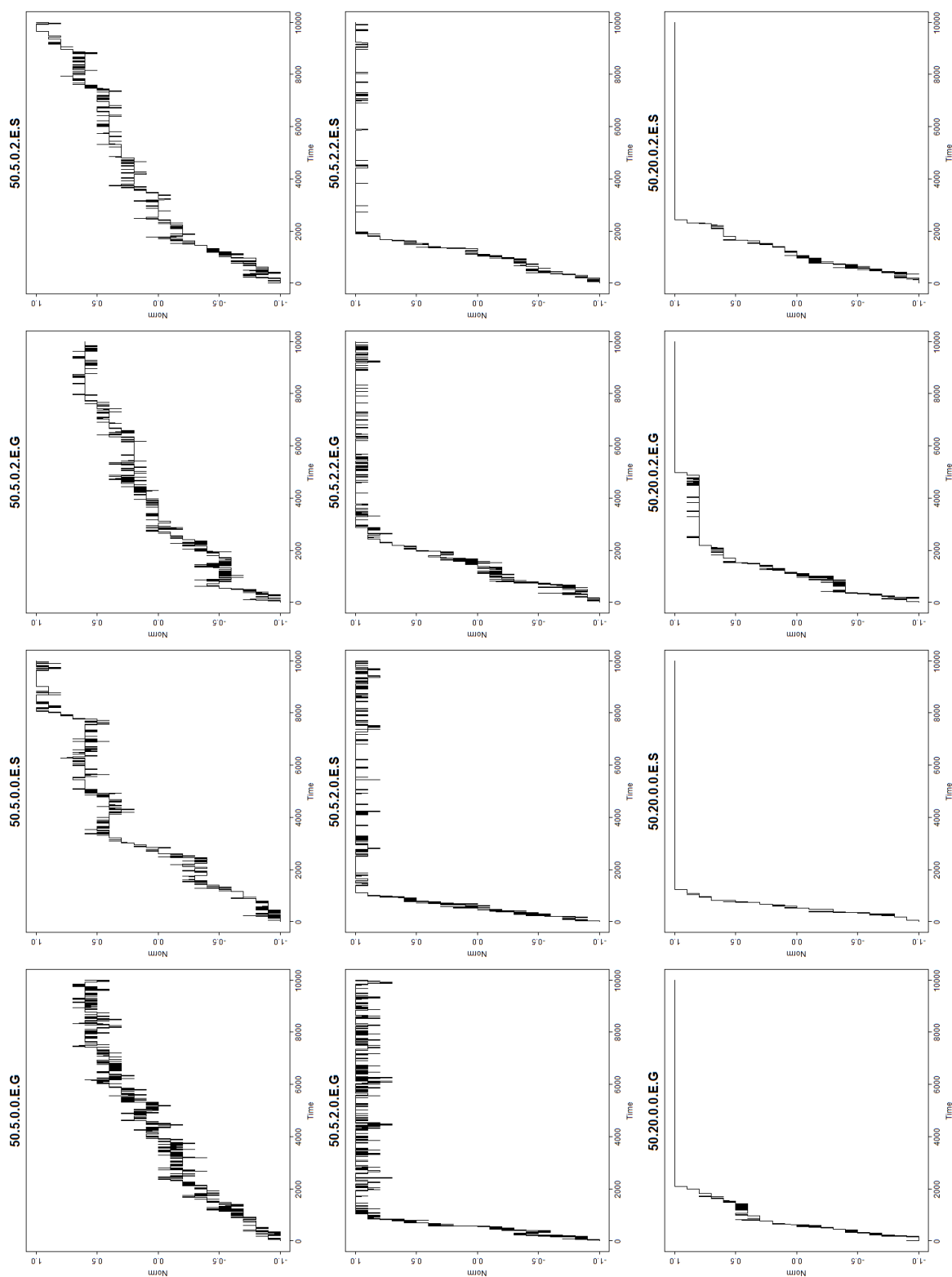


Figura 43. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 50%. Elaborado pelo autor.

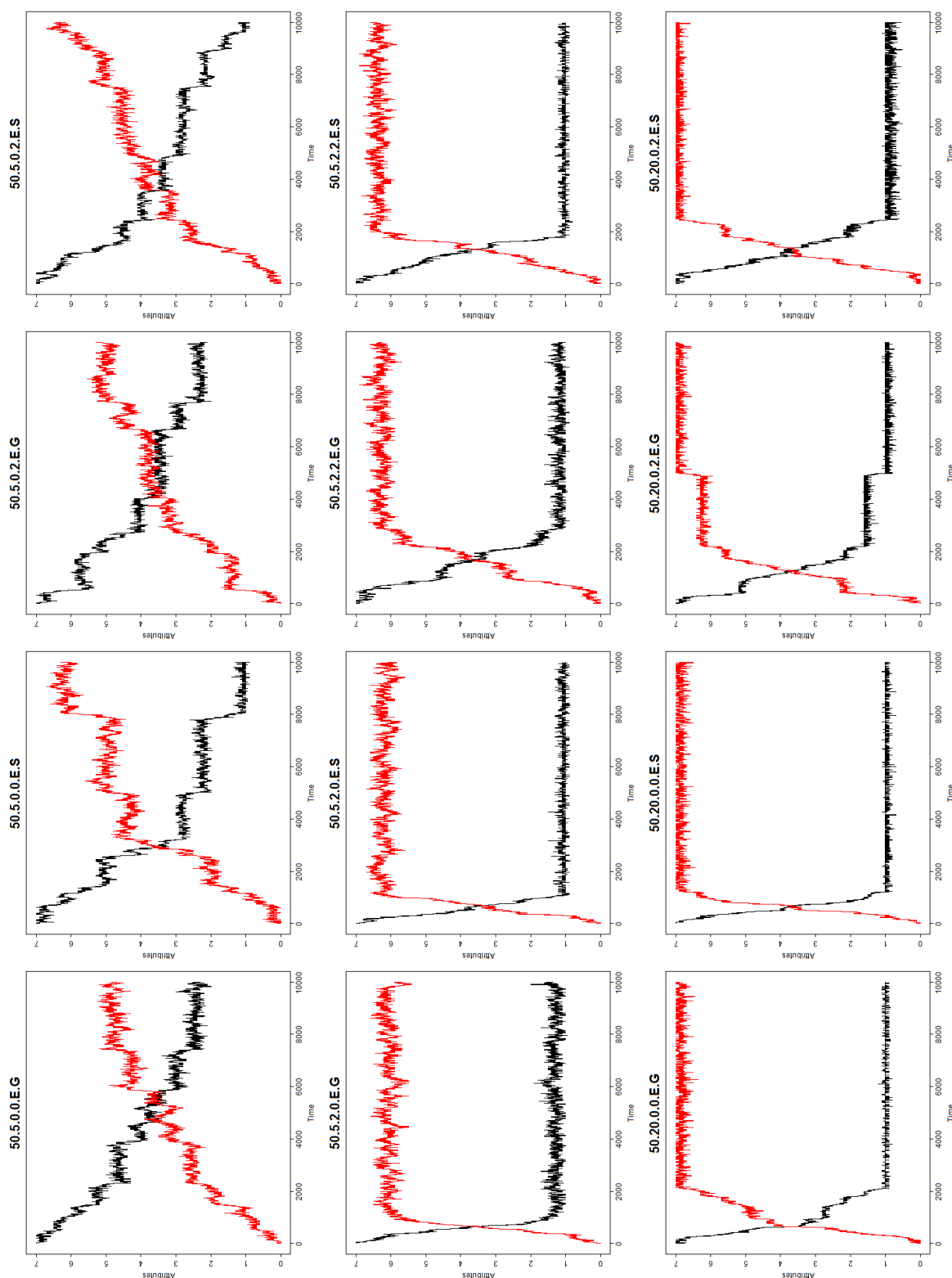


Figura 44. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 10.000 gerações, Densidade Populacional 50%, Atributos Médios da Instituição Endógena na rodada de simulações: “ousadia” (linha preta) e “vingança” (linha vermelha). Elaborado pelo autor.

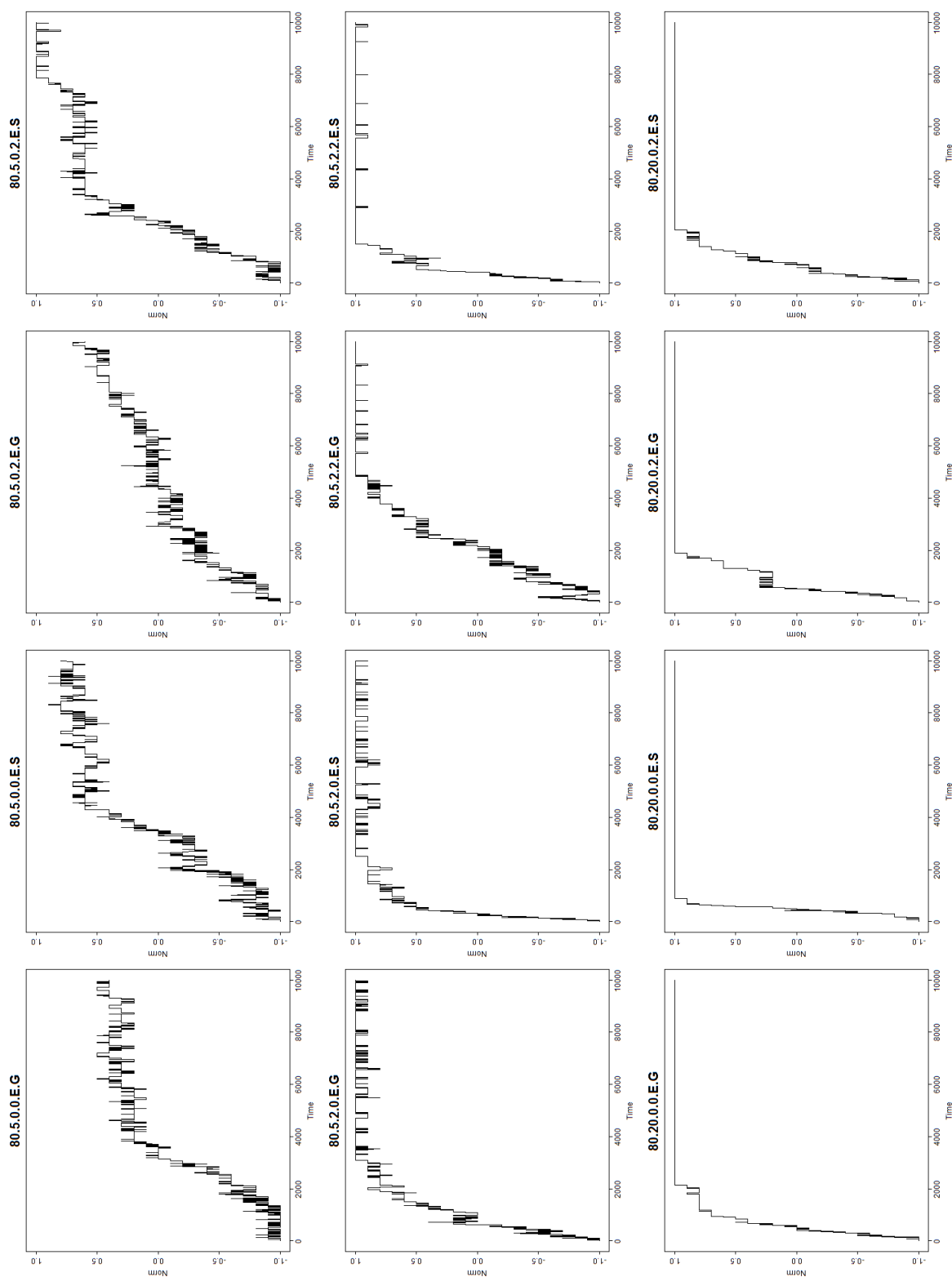


Figura 45. Gráficos de Norma Média – 10 rodadas, 10.000 gerações, Instituição Endógena, Densidade Populacional 80%. Elaborado pelo autor.



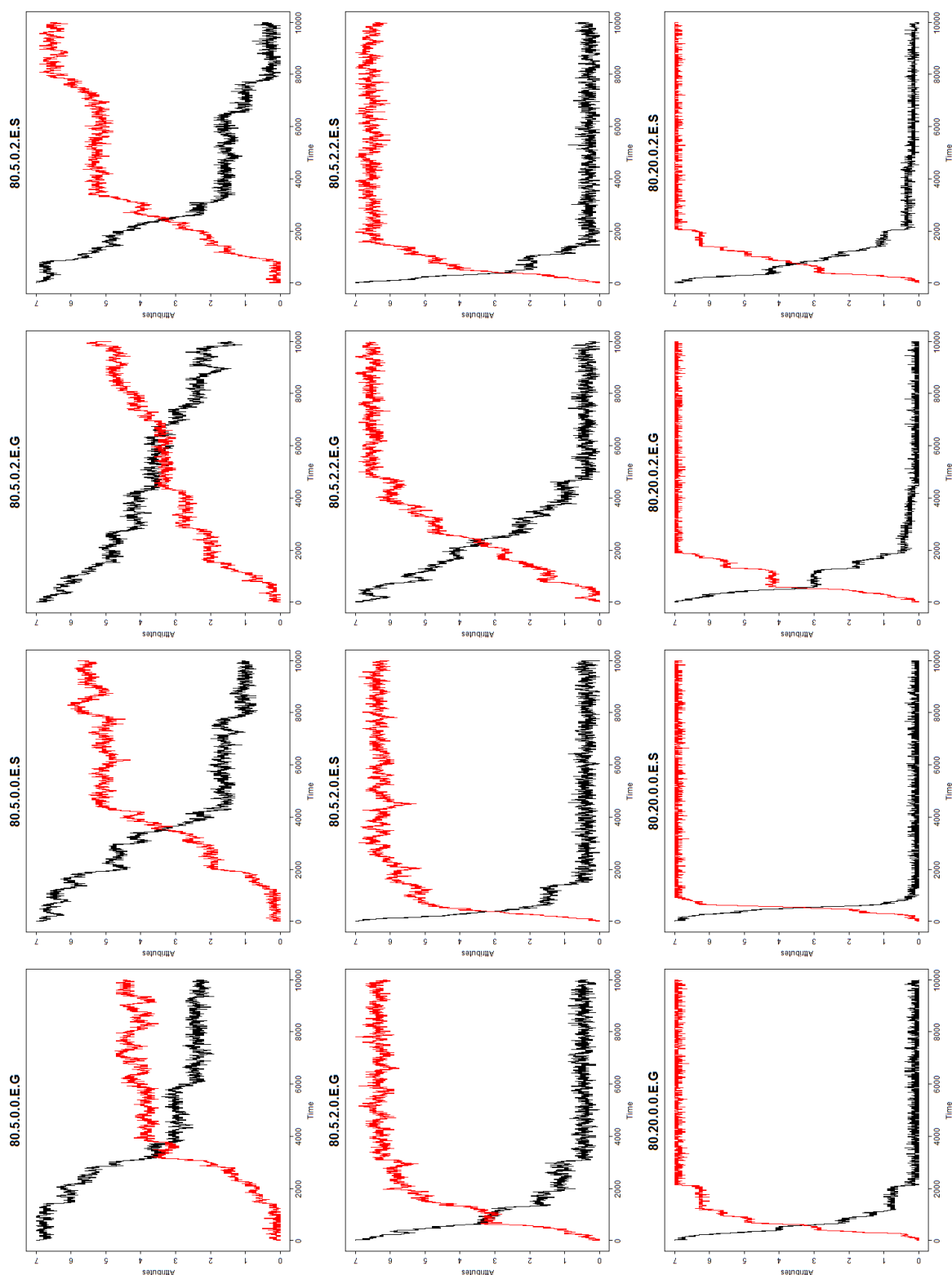


Figura 46. Gráficos de Atributos – 10 rodadas, 10.000 gerações, Densidade Populacional 80%, Atributos Médios da Instituição Endógena na rodada de simulações: “ousadia” (linha preta) e “vingança” (linha vermelha). Elaborado pelo autor.