UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS

GLAUCIA LIGIA KELLY PRISCILLA MIDORI FUNAKURA GONDO MAGRI

**Simulação baseada em agentes para a análise do
comportamento do contribuinte quanto à sonegação**

um modelo de evasão fiscal em redes complexas aleatórias

São Paulo
2014

GLAUCIA LIGIA KELLY PRISCILLA MIDORI FUNAKURA GONDO MAGRI

**Simulação baseada em agentes para a análise do
comportamento do contribuinte quanto à sonegação**

um modelo de evasão fiscal em redes complexas aleatórias

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 18 de junho de 2014. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de concentração: Sistemas Complexos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Flávia Mori Sarti

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Magri, Glaucia Ligia Kelly Priscilla Midori Funakura Gondo

Simulação baseada em agentes para a análise do comportamento do contribuinte quanto à sonegação : um modelo de evasão fiscal em redes complexas aleatórias / Glaucia Ligia Kelly Priscilla Midori Funakura Gondo Magri ; orientadora, Flávia Mori Sarti. – São Paulo, 2014

111 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em 2014
Versão corrigida

1. Sonegação fiscal - Modelagem. 2. Evasão fiscal - Modelagem. 3. Contribuinte. 4. Sistemas dinâmicos. 5. Redes complexas. 6. Simulação. I. Sarti, Flávia Mori, orient. II. Título

CDD 22.ed. – 336.2

Nome: Glaucia Ligia Kelly Priscilla Midori Funakura Gondo Magri

Título: Simulação baseada em agentes para a análise do comportamento do contribuinte quanto à sonegação: um modelo de evasão fiscal em redes complexas aleatórias

Dissertação de Mestrado apresentada à
Escola de Artes, Ciências e Humanidades da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Ciências do Programa
de Pós-Graduação em Modelagem de
Sistemas Complexos.

Área de concentração: Sistemas Complexos

Aprovada em: 18 / 06 / 2014

COMISSÃO JULGADORA

Prof.^aDr.^aFlavia Mori Sarti

(Orientadora/ Presidente)

Universidade de São Paulo (USP)

Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH)

Prof.^aDr.^aMaria Dolores Montoya Diaz

Universidade de São Paulo (USP)

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA)

Prof. Dr. Antonio Fernando Crepaldi

Universidade Estadual Paulista - “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)

Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB)

Com carinho, admiração e gratidão, dedico este trabalho...

... ao meu marido Rembert, com quem partilho diversas conquistas e superações, por seu incansável apoio, amor e dedicação.

... aos meus pais, Massamitsu e Maria Aparecida, minhas fontes de inspiração.

... aos meus irmãos, Ralph e Vanessa, pelo incentivo e pela confiança.

... aos que nunca desistiram de realizar seus projetos de vida.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Flávia Mori Sarti pelo apoio fundamental, pelo direcionamento na pesquisa e pelas valiosas contribuições no aperfeiçoamento deste projeto.

À banca de qualificação, Prof. Dr. Camilo Rodrigues Neto e Prof.^a Dr.^a Maria Dolores Montoya Diaz, pelas importantes sugestões que certamente enriqueceram o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

Aos professores Dr. Carlos de Brito Pereira e Dr. André Cavalcanti Rocha Martins pelas preciosas palavras no início da estruturação deste trabalho.

Aos professores Dr. Fernando Fagundes Ferreira, Dr.^a Ana Amélia Benedito Silva, Dr. Marcone Corrêa Pereira, Dr. Candido Ferreira Xavier de Mendonça Neto e Dr. Francisco Javier Sebastian Mendizabal Alvarez pelo conhecimento compartilhado.

Às professoras Dr.^a Violeta Sun e Dr.^a Rosana Retsos Signorelli Vargas pela oportunidade de Estágio em Docência no ensino de graduação em Governança de Tecnologia da Informação e Lógica Matemática.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida durante 2 anos e que possibilitou minha dedicação integral ao longo do período de elaboração deste trabalho.

À Universidade de São Paulo (USP) pelo auxílio financeiro vinculado ao Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE) no período de 10 meses.

À Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH-USP) pela oportunidade de realizar o mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Aos professores e colegas da Escola Politécnica da USP (Poli) e da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH-USP) pelas reflexões que contribuíram para meu amadurecimento pessoal, profissional, científico e acadêmico durante a graduação e o mestrado.

Aos meus familiares e amigos queridos, de todas as partes do mundo, pelo forte incentivo e pelo imenso carinho. Sem vocês, de fato, eu não teria chegado aqui!

*“Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.”*

Fernando Pessoa

“Prometo que, no cumprimento do meu dever de Engenheiro, não me deixarei cegar pelo brilho excessivo da tecnologia, de forma a não me esquecer de que trabalho para o bem do Homem e não da máquina. Prometo dignificar a minha profissão, consciente das minhas responsabilidades, observando o código de ética e o respeito à pessoa humana, objetivando o desenvolvimento social para a grandeza do país”.

Juramento do Engenheiro

RESUMO

MAGRI, Glaucia Ligia Kelly Priscilla Midori Funakura Gondo. **Simulação baseada em agentes para a análise do comportamento do contribuinte quanto à sonegação:** um modelo de evasão fiscal em redes complexas aleatórias. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O tributo é cobrado dos cidadãos porque ele é o custo do contrato social, um acordo entre pessoas para uma vida em sociedade. Diretamente, há um retorno para a sociedade na forma de serviços públicos; indiretamente, é um instrumento do governo para intervir na economia, como na condução de política fiscal e na redução das desigualdades sociais. Um contribuinte está obrigado a pagá-lo porque essa obrigação decorre de uma regra formal (lei) determinada pelas instituições públicas; e estas são criadas para estruturar as interações humanas, por meio de incentivos. Pretendemos apresentar uma alternativa na análise da relação cidadão-governo na arrecadação tributária e no custo relacionado ao combate à sonegação (por meio da fiscalização de tributos), tendo como objeto de estudo a obediência tributária no âmbito da escolha do contribuinte. Propõe-se uma modelagem baseada em agentes para a análise do comportamento do contribuinte quanto à sonegação, apresentando um modelo de evasão fiscal em redes complexas aleatórias. Nossa principal contribuição é incluir a evolução da percepção do contribuinte sobre as ações de fiscalização do governo em um modelo com abordagem em complexidade. A partir da convergência de fatores individuais (risco aceitável), sociais (interação social) e ambientais (dinâmica com o governo) na adoção de comportamento de sonegação pelo contribuinte, serão comparadas a evolução da evasão fiscal (quantidade de declarações de imposto recebidas) e a da fiscalização do governo (número aproximado de contribuintes fiscalizados) a fim de compreender a dinâmica entre contribuinte e governo.

Palavras-chave: Sonegação fiscal - Modelagem. Evasão fiscal - Modelagem. Contribuinte. Sistemas dinâmicos. Redes complexas. Simulação.

ABSTRACT

MAGRI, Glaucia Ligia Kelly Priscilla Midori Funakura Gondo. **Agent-based simulation for analyzing the evasion behavior of the taxpayer:** a model of tax evasion in random complex networks. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Taxes are charged to citizens because they are the cost of the social contract, that is an agreement between people to a life in society. Directly, they convert to society into public goods and services; indirectly, are a means of the government to intervene in the economy, for example, the reduction of social inequalities in the regulation of domestic and foreign trade etc. A taxpayer is required to pay a tax because of a formal rule (law) determined by the public institutions. Institutions are created to structure human interactions through incentives. Our intention is to present an alternative analysis of the state-citizen relations in tax revenue and cost related to tax avoidance and tax audit. The object of study is tax compliance under taxpayer behavior. We present an agent-based simulation for analyzing the evasion behavior of the taxpayer, a model of tax evasion in random complex networks. Our main contribution is to include the evolution of the taxpayer perceptions on the government actions oversight in a model with the complexity approach. From the convergence of individual aspects (agent's decision under acceptable risk), social influences (social interaction) and environmental factors (dynamic with the government) to tax evasion behavior, is analyzed the evolution of tax compliance (by tax declaration) and tax audit in order to understand the dynamic behavior between taxpayer and government.

Keywords: Tax evasion - Modeling. Taxpayer. Dynamical Systems. Complex networks. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Visão geral de agente	32
Figura 2	Representação simplificada de um autômato celular e sua vizinhança. .	33
Figura 3	Simulação de uma rede Erdős-Rény para $N = 10$ e diferentes valores de p	39
Figura 4	Proposta de modelo de ação do setor público para redução de criminalidade.	41
Figura 5	Diagrama de classes do modelo	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 0$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 0\%$	63
Gráfico 2	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 0$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$	64
Gráfico 3	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 0$, $\rho_{t=0} = 10\%$	66
Gráfico 4	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 1$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$	67
Gráfico 5	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 1$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$	69
Gráfico 6	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 1$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$	70
Gráfico 7	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$	71
Gráfico 8	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$	72
Gráfico 9	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$	74
Gráfico 10	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$	75
Gráfico 11	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 2$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$	77
Gráfico 12	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$	79
Gráfico 13	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$	80
Gráfico 14	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$	82
Gráfico 15	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$	83
Gráfico 16	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\tau = 1$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$	85
Gráfico 17	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\tau = 2$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$	86

Gráfico 18	Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\tau = 3$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$	87
------------	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Carga Tributária Bruta de 2010, 2011 e 2012.	20
Tabela 2	Tabela comparativa do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e da Carga Tributária Bruta (CTB), referentes a 2012, entre países. . . .	22
Tabela 3	Indicador de efetividade do governo, referente a 2012.	22
Tabela 4	Atributos do contribuinte i	55
Tabela 5	Atributos da sociedade	56
Tabela 6	Atributos do governo	57
Tabela 7	Cálculo de σ_t	58
Tabela 8	Legenda de cores das curvas plotadas nos gráficos das simulações . . .	61
Tabela 9	Condição inicial 1 do modelo	62
Tabela 10	Tabela resumida das simulações: Condição inicial 1 do modelo	62
Tabela 11	Condição inicial 2 do modelo	78
Tabela 12	Tabela resumida das simulações: Condição inicial 2 do modelo	78

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSS	Simulações Sociais Baseadas em Agentes (ou <i>Agent-Based Social Simulations</i>)
ACSP	Associação Comercial de São Paulo
AI	Inteligência Artificial (ou <i>Artificial intelligence</i>)
CA	Autômatos Celulares (ou <i>Cellular Automata</i>)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CF	Constituição Federal
CPU	Processador (ou <i>Central Processing Unit</i>)
CTB	Carga Tributária Bruta
CTN	Código Tributário Nacional
DAI	Inteligência Artificial Distribuída (ou <i>Distributed Artificial Intelligence</i>)
EACH	Escola de Artes, Ciências e Humanidades
ESAF	Escola de Administração Fazendária
FEA	Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade
FEB	Faculdade de Engenharia de Bauru
GUI	Interface gráfica do usuário (ou <i>Graphical User Interface</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IR	Imposto de Renda
ISAE	<i>Istituto di Studi e Analisi Economica</i>

JAR	<i>Java Archive</i>
JDK	<i>Java SE Development Kit</i>
MBA	Modelagem Baseada em Agentes (ou <i>Agent-Based Modeling</i>)
NBER	<i>National Bureau of Economic Research</i>
NBR	Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OOP	Programação Orientada a Objetos (ou <i>Object-Oriented Programming</i>)
PAE	Programa de Aperfeiçoamento de Ensino
PIB	Produto Interno Bruto
PNEF	Programa Nacional de Educação Fiscal
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
POLI	Escola Politécnica da USP
RAM	Memória de Acesso Aleatório (ou <i>Random Access Memory</i>)
Repast	<i>Recursive Porous Agent Simulation Toolkit</i>
RFB	Receita Federal do Brasil
SDG	<i>Swarm Development Group</i>
SINPROFAZ	Sindicato dos Procuradores da Fazenda Nacional
SMA	Sistema Multiagentes
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UNESP	Universidade Estadual Paulista - “Júlio de Mesquita Filho”
USP	Universidade de São Paulo
WGI	<i>Worldwide Governance Indicators</i>
XLS	<i>Microsoft Excel file format</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Do modelo *Game of Life*, de John Conway

i	número da linha
j	número da coluna
n	quantidade de células vizinhas
k	contador de iteração (ou passo de tempo)
$a_{i,j}^{(k)}$	estado da célula (i, j) na iteração k

Da rede complexa

A	vértice de uma rede ou grafo
k	centralidade do grau de um vértice
p_k	probabilidade de distribuição de arestas
C_i	coeficiente de aglomeração da rede
E_i	número de arestas que conectam os vizinhos do vértice i

Do modelo de rede Erdős-Rény

N	número de nós de uma rede
p	probabilidade de existir aresta que conecta os nós
$\langle k \rangle$	grau médio de uma rede

Do modelo proposto

N	população total de contribuintes
t	contador de iteração (ou passo de tempo)
p	característica da rede aleatória, que determina a probabilidade de dois contribuintes se conectarem
i	identidade ou índice que representa um contribuinte
θ_i	grau de influência social que determina a opinião do contribuinte i

r_i	risco máximo que o contribuinte i aceita
m	decaimento (a cada iteração) da percepção do contribuinte i sobre a fiscalização, nos casos em que o contribuinte não tenha sido fiscalizado
$P_{i,t}$	fração de contribuintes que serão fiscalizados na percepção do contribuinte i
$P_{j,t}^i$	fração de contribuintes que serão fiscalizados na percepção da vizinhança do contribuinte i
$O_{i,t}$	fração de contribuintes que serão fiscalizados na opinião do contribuinte i
$S_{i,t}$	contribuinte i sonega o imposto
F_t	fração de contribuintes que serão fiscalizados na opinião da sociedade
$\bar{F}$	curva de F_t , para $t = \{0, 1, 2, \dots, n - 1\}$
d_t	fração de contribuintes que não sonegam o imposto
$\bar{d}$	curva de d_t , para $t = \{0, 1, 2, \dots, n - 1\}$
σ_t	fração de contribuintes repreendidos, ou seja, sonegam o imposto e foram fiscalizados
$\bar{\sigma}$	curva de σ_t , para $t = \{0, 1, 2, \dots, n - 1\}$
ρ_t	valor aproximado da fração de contribuintes que serão fiscalizados pelo governo (a cada iteração)
$\bar{\rho}$	curva de ρ_t , para $t = \{0, 1, 2, \dots, n - 1\}$
τ	período de tempo considerado para o governo atualizar ρ_t
q	ajuste de ρ_t , decorrente da reavaliação da fiscalização do governo (a cada τ)
$M_{i,t}$	contribuinte i foi fiscalizado pelo governo
n	nº total de iterações (ou período de tempo simulado)
k	nº de execuções para a mesma configuração de condições iniciais do modelo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Conceitos e fundamentos	27
2.1.1	Sistemas complexos	27
2.1.2	Modelagem baseada em agentes	31
2.1.3	Redes complexas	37
2.2	Neoinstitucionalismo	38
2.3	Modelos de evasão fiscal	45
3	METODOLOGIA	51
3.1	Modelo proposto	53
3.1.1	Agentes	54
3.1.2	Ambiente	55
3.1.3	Métodos do agente	57
3.1.4	Interações de agentes	58
3.1.5	Implementação	60
3.2	Resultados	60
3.2.1	Condição inicial 1: $P_{i,t=0} = 100\%$	61
3.2.2	Condição inicial 2: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$	78
4	CONCLUSÃO	89
4.1	Considerações Finais	91
	REFERÊNCIAS	93

APÊNDICES	100
APÊNDICE A Bibliotecas JAVA	101
ANEXOS	102
ANEXO A Evolução da Carga Tributária Bruta no Brasil	103
ANEXO B Carga Tributária Bruta entre 2010 e 2012: América Latina	104
ANEXO C Carga Tributária Bruta entre 2010 e 2012: diversos países	105
ANEXO D Carga Tributária Bruta entre 2005 e 2012: diversos países	106
ANEXO E Carga Tributária Bruta entre 2010 e 2012	107
ANEXO F IDH entre 2010 e 2012: América Latina	108
ANEXO G IDH entre 2010 e 2012: diversos países	109
ANEXO H WGI de efetividade do governo: 2012	110
ANEXO I WGI de confiança na justiça: 2012	111

1 INTRODUÇÃO

O tributo é cobrado dos cidadãos porque ele é o custo do contrato social, ou seja, um acordo entre pessoas para uma vida em sociedade. Diretamente, os tributos retornam para a sociedade na forma de bens e serviços públicos, tais como: educação, habitação, justiça, saneamento, saúde, segurança pública, sistemas de transportes etc. Indiretamente, os tributos podem desempenhar um papel na redução das desigualdades regionais, na melhor distribuição de renda, no incentivo ao desenvolvimento de determinados setores da economia e na regulação do comércio interno e externo.

Para o governo, a educação fiscal é uma das soluções para alcançar justiça social, através da conscientização do cidadão sobre o seu dever de contribuir solidariamente em benefício da coletividade e o de compreender, no contexto financeiro, essa relação sociedade e Estado, seja na perspectiva Estado-fisco e cidadão-contribuinte, seja na perspectiva Estado-provedor e cidadão-beneficiário de serviços públicos. No momento em que o cidadão percebe essa relação e a importância de

“[...] que todos pagamos tributo e, em contrapartida, temos o direito de participar do processo decisório de alocação do gasto público (...) há grande possibilidade de mudança de paradigma. Fica mais explícito que o tributo é a contribuição de todos para construirmos uma sociedade mais justa, o que só será possível com o controle popular do gasto público. Essa consciência estimula a mudança de comportamento em relação a sonegar e malversar recursos públicos, atos que passam a ser repudiados como crimes sociais, uma vez que retiram dos cidadãos que mais dependem do Estado as condições mínimas para que tenham dignidade e esperança de construir seu futuro com autonomia e liberdade” (BRASIL, 2009, p. 25).

No entanto, as ações direcionadas à educação fiscal têm resultados no longo prazo.

Para alcançar a justiça social, o peso dos tributos na economia brasileira pode ser uma questão relevante. Nesse caso, o indicador normalmente estudado é a Carga Tributária Bruta (CTB), que é definida como a razão entre a arrecadação de tributos e o Produto Interno Bruto (PIB) a preços de mercado, ambos considerados em termos nominais.

Para calcular a CTB, a Receita Federal do Brasil (RFB) considera que o juízo econômico prevalece sobre o jurídico. Em outras palavras, incluem-se os pagamentos compulsórios, com características econômicas de tributo, independente de sua denominação ou natureza jurídica, realizados por pessoas (físicas ou jurídicas) para o Estado, excluindo-se aqueles que configurem sanção, penalidade ou outros acréscimos legais (BRASIL, 2012).

Em 2011, a **CTB** atingiu 35,31%, indicando variação positiva de 1,78% em relação ao ano anterior¹. De acordo com **Brasil (2012, p. 1)**, “essa variação resultou da combinação dos crescimentos, em termos reais, de 2,7% do Produto Interno Bruto e de 8,15% da arrecadação tributária nos três níveis de governo”, variações reais calculadas com base no deflator implícito do **PIB** que, em 2011, foi de 7,0%. Desconsiderando os efeitos dos parcelamentos (isto é, dívidas de exercícios anteriores que influenciaram a arrecadação do período atual, em função do regime de caixa utilizado), o valor da **CTB** em 2011 foi de 34,7% do **PIB**, contra 33,2% em 2010, indicando um aumento de 1,5% (**BRASIL, 2012, p. 3**).

Em 2012, a **CTB** atingiu 35,85%, indicando variação positiva de 0,54% em relação ao ano anterior². De acordo com **Brasil (2013, p. 1)**³, “essa variação resultou da combinação dos crescimentos, em termos reais, de 1,0% do Produto Interno Bruto e de 2,44% da arrecadação tributária nos três níveis de governo”, variações reais calculadas com base no deflator implícito do **PIB** que, em 2012, foi de 5,32%. Desconsiderando os efeitos dos parcelamentos, a **CTB** em 2011 foi de 35,26%, indicando um aumento de 0,6% em relação ao ano anterior.

Tabela 1 – Carga Tributária Bruta de 2010, 2011 e 2012.

		<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>
Arrecadação Tributária Bruta	(em R\$ bilhões)	1.264,15	1.463,02	1.574,59
Produto Interno Bruto	(em R\$ bilhões)	3.770,09	4.143,01	4.392,09
Carga Tributária Bruta		33,53%	35,31%	35,85%

Fonte: **Brasil (2012)**, **Brasil (2013)**. Ver também Anexo A

Em outra metodologia, nesta feita pelo Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário (**IBPT**), a **CTB** foi de 36,02%, em 2011, e alcançou 36,27%, em 2012, o que resultou em um crescimento de 0,25% em relação ao ano de 2011 (**IBPT, 2013a**). De todo modo, qualquer que seja a metodologia referenciada, os valores da **CTB** em 2011 e 2012 estiveram entre 33% e 37%.

Além do indicador **CTB**, uma forma de alertar o contribuinte sobre o tema é mostrar o quanto é arrecadado em tributos. A Associação Comercial de São Paulo (**ACSP**) disponibiliza no painel “impostômetro” (**IBPT, 2013d**) uma estimativa, em tempo real, da arrecadação acumulada no ano, baseada nos estudos do **IBPT**, com o objetivo de promover um debate sobre o valor da arrecadação tributária no Brasil.

¹Da **Tabela 1**: $35,31\% - 33,53\% = 1,78\%$.

²Da **Tabela 1**: $35,85\% - 35,31\% = 0,54\%$.

³O valor divulgado da arrecadação tributária em **Brasil (2012)** apresentou divergências em relação àquele em **Brasil (2013)**. Em **Brasil (2012)**, o valor divulgado foi de R\$ 1.462,95 bilhões; e, em **Brasil (2013)**, foi de R\$ 1.463,02 bilhões.

Outro indicador foi proposto, em um estudo recente do IBPT (2013c): um indicador que avalia o peso dos tributos na vida do cidadão. Foi concluído que o contribuinte brasileiro trabalhou aproximadamente 5 meses em 2013, somente para pagar os tributos (impostos, taxas e contribuições) exigidos pelas três esferas de governo (federal, estadual e municipal).

Se os tributos possuem a função social de prover bens e serviços públicos para a sociedade, cabe, então, medir a disponibilidade e a qualidade desses benefícios prestados pelo governo. Normalmente o indicador usado é o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), “[...] uma medida resumida do progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde” (PNUD, 2013).

“O IDH é um índice que serve de comparação entre os países, com o objetivo de medir o grau de desenvolvimento econômico e a qualidade de vida oferecida à população. Este índice é calculado com base em dados econômicos e sociais. O IDH vai de 0 (nenhum desenvolvimento humano) a 1 (desenvolvimento humano total). Quanto mais próximo de 1, pode-se afirmar que esse país é o que atingiu maior grau de desenvolvimento.” (IBPT, 2013b, p. 3).

A Tabela 2 apresenta o IDH do Brasil e de outros países, em ordem decrescente⁴. Também são mostradas a CTB divulgada pela OCDE (2014a)⁵ e aquela pelo Banco Mundial (2014)⁶.

O país brasileiro (IDH 0.730) é o único país da Tabela 2 que apresenta o IDH menor do que 0.800, comparado com países que estão dentro do intervalo de 3 pontos percentuais da CTB, divulgada pela OCDE (2014a) para o Brasil, que é 36,3%. São eles: Alemanha (IDH 0.920), Eslovênia (IDH 0.892), República Tcheca (IDH 0.873), Grécia (IDH 0.860), Hungria (IDH 0.831) e Argentina (IDH 0.811).⁷

Ainda sobre a Tabela 2, a CTB divulgada pelo Banco Mundial (2014) apresenta divergências com a da OCDE (2014a), devido à metodologia adotada. A CTB para o Brasil, divulgada pelo Banco Mundial (2014), foi 15%. Nesse mesmo patamar, considerando um intervalo de 3 pontos percentuais, o resultado do país brasileiro (IDH 0.730) se distancia daquele de países europeus como a Alemanha (IDH 0.920), Eslovênia (IDH 0.892), República Tcheca (IDH 0.873) e Estônia (IDH 0.846). Por outro lado, o IDH está na mesma faixa da Colômbia (IDH 0.719). O Paraguai (IDH 0.669), nessa comparação, apresenta pior IDH.⁸

Na Tabela 3, encontra-se outro indicador, elaborado pelo Banco Mundial (2013): o de efetividade do governo, que capta a percepção da qualidade dos serviços públicos, do grau

⁴Ver também Anexo F e Anexo G.

⁵Ver também Anexo B, Anexo C e Anexo D.

⁶Ver também Anexo E.

⁷Tabela 2: Linhas nº 2, 4, 7, 8, 10, 12, 16.

⁸Tabela 2: Linhas nº 2, 4, 7, 9, 16, 19, 21.

Tabela 2 – Tabela comparativa do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e da Carga Tributária Bruta (CTB), referentes a 2012, entre países.

<i>linha nº</i>	<i>País</i>	<i>IDH</i>	<i>CTB</i>	
			<i>OCDE</i>	<i>Banco Mundial</i>
1	Estados Unidos	0.937	24,3	10
2	Alemanha	0.920	37,6	12
3	França	0.893	45,3	21
4	Eslovênia	0.892	37,4	18
5	Espanha	0.885	32,9	7
6	Itália	0.881	44,4	22
7	República Tcheca	0.873	35,5	13
8	Grécia	0.860	33,8	22
9	Estônia	0.846	32,5	16
10	Hungria	0.831	38,9	23
11	Chile	0.819	20,8	19
12	Argentina	0.811	37,3	não disponível
13	Uruguai	0.792	26,3	19
14	México	0.775	18,9	não disponível
15	Venezuela	0.748	13,2	não disponível
16	Brasil	0.730	36,3	15
17	Equador	0.724	20,2	não disponível
18	Turquia	0.722	27,7	20
19	Colômbia	0.719	19,6	13
20	Bolívia	0.675	28,1	não disponível
21	Paraguai	0.669	12,7	13

Em ordem decrescente de IDH.

Fonte: PNUD (2014), do OCDE (2014a) e do Banco Mundial (2014).

Tabela 3 – Indicador de efetividade do governo, referente a 2012.

	<i>País</i>	<i>Indicador de efetividade do governo</i>
(I)	França	87.56
(II)	Chile	86.60
(III)	Espanha	82.30
(IV)	Estônia	77.99
(V)	República Tcheca	76.56
(VI)	Hungria	70.81
(VII)	Uruguai	66.99
(VIII)	Itália	66.03
(IX)	Turquia	65.07
(X)	México	63.16
(XI)	Grécia	62.20
(XII)	Colômbia	56.94
(XIII)	Brasil	50.24

Em ordem decrescente do indicador.

Fonte: Banco Mundial (2013). Ver também Anexo H.

de independência das pressões políticas, da qualidade da formulação de políticas públicas, bem como a credibilidade do compromisso do governo para implementá-las.⁹

Em 2012, o Brasil apresenta o indicador de efetividade do governo de 50.24, ocupando a faixa de 50-75 percentil. Os países da [Tabela 2](#) que se encontram nessa mesma faixa desse indicador são: Colômbia (56.94), Grécia (62.20), México (63.16), Turquia (65.07), Itália (66.03), Uruguai (66.99) e Hungria (70.81). Ainda da [Tabela 2](#), comparando com a [CTB](#), divulgada pela [OCDE \(2014a\)](#), o Brasil (36,3%) se aproxima da colocação da Hungria (38,9%) e da Grécia (33,8%)¹⁰. No entanto, o indicador de efetividade medido pelo [Banco Mundial \(2013\)](#) é, respectivamente, 70.81 e 62.20 contra 50.24 do Brasil.¹¹

Com relação à fonte [Banco Mundial \(2014\)](#) da [Tabela 2](#), a [CTB](#) coloca o Brasil (15%) mais próximo do Uruguai (19%) e da Colômbia (13%)¹². No entanto, o indicador de efetividade medido pelo [Banco Mundial \(2013\)](#) é, respectivamente, 66.99 e 56.94 contra 50.24 do Brasil.¹³

O desempenho que se destaca é o do Chile, país latino-americano que apresentou um indicador de efetividade do governo de 86.60, isto é, 36 pontos acima no indicador apresentado pelo Brasil. Para efeito de comparação, a França e a Espanha apresentaram um indicador de 87.56 e de 82.30, respectivamente. O Chile apresentou uma carga tributária em 2012 inferior à do Brasil em aproximadamente 15 pontos percentuais do [PIB](#) conforme [OCDE \(2014a\)](#). Em [Banco Mundial \(2014\)](#), o Chile apresentou uma [CTB](#) superior em 4%.

Diante do tema exposto, concluímos que a cidadania tem relação com a questão fiscal, pois nenhum benefício social está disponível sem que haja política pública; e não há política pública sem que haja recursos públicos, que é proveniente principalmente da arrecadação de tributos. No entanto, destacamos que uma elevada carga tributária pode ou não representar melhorias na qualidade de vida da população, pois dependem, dentre outros fatores, da qualidade das políticas públicas, da eficiência dos gastos públicos e do combate à sonegação e à corrupção.

Tal como a má administração dos recursos públicos fere o pacto inicial entre o cidadão e o Estado, sonegar também, pois, ambos causam prejuízos à sociedade, de forma geral. A motivação desta dissertação partiu da necessidade particular de fomentar a discussão sobre a relação entre justiça fiscal e sonegação, no sentido de que sonegar é um ato do próprio cidadão, que causa prejuízo à sociedade e, portanto, a si mesmo ([BOVI; CERQUETI, 2009](#)).

Em resposta ao “impostômetro”, por exemplo, o Sindicato dos Procuradores da Fa-

⁹Ver também Anexo H.

¹⁰[Tabela 2](#): Linhas 8, 10, 16.

¹¹[Tabela 3](#): (VI) a (XIII).

¹²[Tabela 2](#): Linhas 13, 16, 19.

¹³[Tabela 3](#): (VII), (XII) e (XIII).

zenda Nacional (SINPROFAZ) criou o painel “sonegômetro” (SINPROFAZ, 2013b), uma estimativa de quanto de tributos é sonegado no país, com o objetivo de destacar a importância do combate à sonegação e de promover uma discussão sobre a reforma tributária. Um estudo do SINPROFAZ (2013a) revela que a sonegação chegou a R\$ 350 bilhões em 2011 no Brasil, correspondendo a 24% do total da arrecadação federal, estadual e municipal e 8,4% do PIB. Caso fosse possível eliminar a evasão, a arrecadação poderia se expandir em 23,9% ou poderia reduzir a CTB em quase 30%, mantendo o mesmo nível de arrecadação.

O que pretendemos com esta dissertação é apresentar uma alternativa na análise sobre a relação cidadão-Estado na arrecadação tributária e no custo relacionado ao combate à sonegação (através da fiscalização de tributos), tendo como objeto de estudo a obediência tributária (*tax compliance*) no âmbito da escolha do contribuinte (*taxpayer behaviour*).

A fiscalização de tributos é uma atividade administrativa do governo com o objetivo de constituir crédito (decorrente de uma obrigação tributária), isto é, o de verificar o tributo devido e, caso o contribuinte tenha descumprido a lei, cobrar aquele valor sonegado e aplicar a ele uma penalidade. Dessa forma, fiscalizar pode ser considerado um mecanismo de desincentivo à sonegação.

Entretanto, se por um lado, a fiscalização recupera os tributos sonegados, por outro, ela representa um custo aos cofres públicos; um custo que deixa de ser aplicado em bens e serviços públicos para financiar a fiscalização; ou ainda, um custo suportado pelos contribuintes adimplentes em função da evasão fiscal existente.

Estudos na área tributária abrangem diversos campos do conhecimento. Há aqueles com foco jurídico, em que são discutidos princípios tributários, competência tributária (dos Municípios, dos Estados ou da União), repartição das receitas tributárias e guerra fiscal entre entes federados. Há estudos também na área da Economia (HUNGERFORD, 2012) e Contabilidade sobre o impacto dos tributos nas atividades comerciais e financeiras. O tema da sonegação pode ainda ser tratado como um problema institucional (NORTH, 1998; SINPROFAZ, 2013a) ou um fenômeno social estudado individualmente sob as perspectivas econômicas e psicológicas (ANDREONI; ERARD; FEINSTEIN, 1998).

Nesta dissertação, a sonegação é investigada como um fenômeno social a partir de uma abordagem interdisciplinar, buscando a integração de observações provenientes de diferentes áreas de conhecimento, de forma a buscar analisar fatores individuais, sociais e ambientais na adoção de comportamento de sonegação pelo contribuinte. Assim, apresentamos uma possibilidade que direcione ações de governo em prol da redução de tal prática.

A complexidade é uma área de pesquisa interdisciplinar, que estuda, entre outras propriedades, o comportamento de auto-organização e de emergência não trivial, a partir de

regras simples de comportamento autônomo de cada agente. A dinâmica, a informação, a computação e a evolução são considerados os conceitos-chave dessa área (MITCHELL, 2009).

A Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA) possibilita a construção de sistemas complexos a partir de uma abordagem *bottom-up*, em que os agentes (componentes individuais) possuem características como a autonomia e a heterogeneidade. Dessa forma, é possível modelar o comportamento do contribuinte (decorrente da decisão sob incerteza de sonegar) e do governo (decorrente da ação de reduzir a prática de sonegação).

O objetivo desta dissertação é propor um modelo de evasão fiscal, através da Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA), com as seguintes características:

- ❑ a “*probabilidade de fiscalização*” é caracterizada como a percepção do contribuinte sobre o risco dele próprio ser fiscalizado;¹⁴
- ❑ essa percepção do contribuinte pode evoluir no tempo;
- ❑ a interação social pode influenciar nessa percepção do contribuinte;
- ❑ as atividades de fiscalização do governo podem variar no tempo conforme a evolução da quantidade de declarações do imposto entregues pelos contribuintes.

Serão observadas as possíveis alterações do comportamento global da sociedade a partir da influência e a convergência de fatores individuais, sociais e ambientais na adoção de comportamento de sonegação pelo contribuinte. Daí, serão comparadas a evolução da evasão fiscal (representada pela quantidade de declarações de imposto recebidas) e a da fiscalização do governo (representada pelo número aproximado de contribuintes fiscalizados) a fim de compreender a dinâmica de comportamento entre contribuinte e governo.

Nossa principal contribuição é incluir a evolução da percepção do contribuinte sobre as ações de fiscalização do governo em um modelo com uma abordagem à luz da complexidade, através de simulação computacional. A partir de uma MBA, pretende-se investigar o fenômeno da evasão fiscal no comportamento coletivo da sociedade, através da simulação do comportamento do contribuinte (agente), que inclui aspectos individuais (risco aceitável), sociais (influência dos demais indivíduos) e ambientais (eficácia da fiscalização do governo).

¹⁴Os primeiros modelos de evasão fiscal publicados na literatura, os quais mais adiante serão tratados nesta dissertação na Seção 2.3, consideravam esse parâmetro como a probabilidade do contribuinte ser fiscalizado, a partir do número de contribuintes que o governo seleciona para fiscalizar. No entanto, essa informação não está disponível ao contribuinte; logo, o fator que possivelmente influenciaria na decisão do contribuinte em sonegar seria a percepção dele próprio sobre ser fiscalizado.

Quanto à organização desta dissertação, o [Capítulo 2](#) apresenta um breve resumo dos conceitos e fundamentos que orbitam a teoria da complexidade, seguindo-lhe com considerações teóricas do neoinstitucionalismo e dos modelos de evasão fiscal. No [Capítulo 3](#), propomos um modelo de evasão fiscal em redes complexas aleatórias a partir de uma simulação baseada em agentes, no qual o objetivo é analisar o comportamento do contribuinte quanto à sonegação. É dedicada especial atenção à variável *probabilidade de fiscalização* e à disseminação dela através de interações sociais, com sugestões sobre como essa abordagem pode contribuir nos estudos teóricos sobre a evasão fiscal. Foram realizadas simulações desse modelo com diferentes configurações de sociedade. Os resultados são apresentados ao final. E, por último, no [Capítulo 4](#), seguem-se as conclusões, com a reunião dos principais pontos abordados ao longo desta dissertação e sugestões para pesquisas no futuro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos e fundamentos

2.1.1 Sistemas complexos

Um modelo abstrato representa um problema observado no mundo real. Também pode ser usado como um meio de prever o futuro, por exemplo, o da lei da gravidade de Isaac Newton (MITCHELL, 2009).

Normalmente os modelos analíticos tradicionais se referem a um número considerado de indivíduos. Os de interação social analisam esse número muito pequeno ou infinito. Em ambos os casos, os resultados são bastante previsíveis (MILLER; PAGE, 2009), tendo em vista a limitação dos efeitos das ações e reações analisadas (no caso de modelos com poucos indivíduos) ou a necessidade de aproximações de campo médio do comportamento social (no caso de modelos com número infinito de indivíduos). Atualmente, é possível investigar fenômenos sociais, construindo modelos a partir de uma nova abordagem: a complexidade.

Os modelos de sistemas complexos são modelos relativamente simples que conseguem obter entendimentos sobre um conceito geral, sem a necessidade de fazer previsões detalhadas de qualquer sistema específico. Tornar eficaz essa modelagem requer a racionalização das variáveis a serem inseridas no modelo, excluindo-se detalhes demasiados e incluindo as peças-chave do comportamento estudado a partir da observação da realidade (MILLER; PAGE, 2009).

A definição de “sistema complexo” proposta pela pesquisadora Mitchell (2009) é: aquele que exibe comportamento de auto-organização e de emergência não trivial. Ou ainda, um sistema em que um aglomerado de agentes, que se comportam com regras relativamente simples, dá origem a um comportamento coletivo complexo. Esse comportamento coletivo apresenta processamento de informação sofisticado e adaptação através da aprendizagem ou evolução, mesmo sem nenhum controle central. O foco das ciências da complexidade é a forma como este comportamento auto-organizado emergente imprevisível acontece, a partir do conhecimento do comportamento de cada agente (BOCCARA, 2004; MITCHELL, 2009).

Mitchell (2009) cita exemplos de fenômenos que envolve a complexidade:

- como uma estrutura complexa do sistema imunológico combate as doenças?

- ❑ como um aglomerado de células se organiza para formar um órgão sofisticado, por exemplo, o cérebro?
- ❑ como trilhões de neurônios, substratos materiais inconscientes e sem inteligência, produzem algo como a “consciência” ou a “inteligência”?
- ❑ o que permite que insetos, como formigas, ajam individualmente com tanta precisão e com propósito de grupo?
- ❑ como agentes independentes na economia produzem mercados globais complexos e estruturados, sendo que cada um deles trabalha para o seu próprio lucro?

Apesar da aparente diferença entre esses sistemas, eles apresentam propriedades comuns, tais como:

- ❑ **auto-organização:** os sistemas consistem em grandes redes de agentes individuais, cada um segue regras relativamente simples, sem controle central ou líder. Essas regras produzem um comportamento coletivo emergente, capaz de formar padrões;
- ❑ **processamento de informação:** os sistemas produzem e usam informações e sinais dos seus ambientes internos e externos;
- ❑ **adaptação:** os sistemas se adaptam no seu contexto; são capazes de mudar seu comportamento para melhorar suas chances de sobrevivência ou sucesso através da aprendizagem ou processos evolutivos;
- ❑ **autonomia:** os agentes dos sistemas não são regidos por um controle central ou um líder;
- ❑ **heterogeneidade:** os agentes dos sistemas podem apresentar comportamentos ou características distintas entre si.

A complexidade é uma área interdisciplinar, em que são reunidos físicos, químicos, economistas, engenheiros, cientistas da computação, matemáticos, biólogos, entre outros (SERVICE, 1999), pois, são encontradas essas propriedades geralmente em fenômenos biológicos, tecnológicos, econômicos e sociais. A teoria dos sistemas complexos não possui uma única base de conhecimento (NEWMAN, 2011). Por isso, o maior desafio dessa linha de pesquisa tem sido a formação de uma teoria única. Nesse sentido, alguns acreditam tratar-se de uma nova ciência. Wolfram (2002), por exemplo, intitula sua obra *A New Kind of Science*.

Por outro lado, alguns pesquisadores de sistemas complexos não consideram que uma teoria unificada da complexidade seja uma meta significativa no momento, pois não são

conhecidos seus componentes, nem suas forças fundamentais (MITCHELL, 2009). Mais importante agora, então, seria fornecer uma nova visão sobre o funcionamento de um conjunto de sistemas, não por meio do estudo de cada um deles, separadamente. O conhecimento sobre específicos sistemas complexos é sintetizado em princípios comuns, que depois fornecem novos conhecimentos para a compreensão desses sistemas. É um ciclo interminável na pesquisa científica de propor e duvidar: quanto mais estabelecidos esses princípios, mais cético é preciso estar de todos os fatos contraditórios; quanto mais convincente desses fatos, mais cético é preciso estar desses supostos princípios.

Por volta de 1940, o matemático Norbert Wiener percebeu que a ciência de sistemas complexos aplicados em biologia e engenharia não deveria focar nos conceitos da física (massa, energia e força), mas sobre os conceitos de *feedback*, controle, comunicação, informação e propósito. Em uma série de conferências da *Josiah Macy Jr. Foundation*, cientistas renomados da área de Inteligência Artificial (ou *Artificial intelligence*) (AI) discutiram sobre:

- ❑ O que é informação? O que é computação?
- ❑ Como a informação e a computação são manifestadas em organismos vivos?
- ❑ Quais analogias podem ser feitas entre os sistemas vivos e máquinas?
- ❑ Qual é o papel do *feedback* no comportamento complexo?
- ❑ Como o significado e o propósito surgem a partir do processamento de informação?

Apesar dessas discussões, não foi possível unificar as ciências de controle e de comunicação. Houve um direcionamento nas pesquisas em *feedback* e em equações diferenciais estocásticas (MANSELL, 2009). Outros enfatizaram em sistemas baseados em redes, teoria de controle e teoria de jogos (WOLFRAM, 2002).

Na década de 1960, um movimento similar de buscar princípios comuns foi o surgimento da “Teoria Geral dos Sistemas”, a partir de pesquisas sobre a complexidade em grandes organizações humanas e formas de hierarquia, contribuindo com o desenvolvimento da ciência da administração (WOLFRAM, 2002). Um sistema é definido, em um sentido amplo, como sendo, uma coleção de elementos em interação a qual, juntos, produzem alguma forma de comportamento de todo sistema. Em virtude de suas interações, as não-linearidades são apresentadas (SUN, 2008; MITCHELL, 2009). Na prática, faziam simulações de um conjunto de equações diferenciais.

Havia um interesse particular em construir uma estrutura matemática rigorosa que pudesse explicar e prever propriedades gerais dos sistemas vivos, mas essas tentativas fracassaram. Entretanto, esses esforços resultaram em diversos avanços nas áreas modernas

da ciência e engenharia, tais como: [AI](#), vida artificial, ecologia de sistemas, biologia de sistemas, redes neurais, análise de sistemas, teoria de controle e complexidade. Alguns dos sistemas construídos ou simulados na robótica mostram algum comportamento complexo, mas, na maioria dos casos, isso era visto apenas como algo a ser investigado, não como uma questão central da complexidade ([WOLFRAM, 2002](#)).

Muitos sistemas complexos foram estudados intensamente dentro de suas próprias áreas acadêmicas, por exemplo, os ecossistemas em ecologia, os mercados de ações em finanças e negócios etc ([NEWMAN, 2011](#)). Várias abordagens mais recentes às teorias gerais de sistemas complexos vieram da comunidade da física. Hermann Haken, com a teoria sinérgica, e Ilya Prigogine, com a teoria das estruturas dissipativas e sistemas de não-equilíbrio, tentaram integrar idéias dos fenômenos críticos, da termodinâmica e da teoria de sistemas dinâmicos para explicar a auto-organização em sistemas físicos e biológicos. Em particular, o termo “complexidade” foi determinado através de elementos comuns nesses diferentes fenômenos, tais como: não-equilíbrio, estabilidade, bifurcação e quebra de simetria. No entanto, essas iniciativas ainda estão distantes de alcançar uma teoria geral que unificasse esses elementos de uma forma que explicasse a complexidade.

A dinâmica, a informação, a computação e a evolução são os conceitos-chave mais prováveis de uma possível teoria de sistemas complexos. [Mitchell \(2009\)](#) sugere, como princípios comuns, as características decorrentes de: sistemas caóticos; auto-replicação, de John von Neumann; equilíbrio entre *exploitation* e *exploration*, de John Holland; evolução da cooperação, de Robert Axelrod; equivalência computacional, de Stephen Wolfram; *links* preferenciais em redes, de Albert-László Barabási e Réka Albert; redes fractais na biologia, de Geoffrey Brian West, James Hemphill Brown e Brian Enquist etc.

Sobre os rumos das pesquisas em sistemas complexos, [Mitchell \(2009\)](#) apresenta duas direções:

1. as mesmas idéias e ferramentas decorrentes da pesquisa de complexidade serão refinadas e aplicadas em uma variedade cada vez maior de áreas específicas, tais como física, biologia, epidemiologia, sociologia, ciência política, ciência da computação, neurociência, economia, ecologia, climatologia e medicina;
2. todos esses campos serão vistos de um nível macroscópico, de modo a buscar teorias matemáticas preditivas e explicativas, de modo que tornariam mais rigorosas as semelhanças entre os sistemas complexos e poderiam descrever e prever fenômenos emergentes.

Pesquisadores vêem o futuro de sistemas complexos uma área com potencial para fazer contribuições para a ciência, especialmente, nas ciências naturais e nas ciências sociais ([MITCHELL, 2009](#)). Por exemplo, conceitos de informação e de computação estão sendo

estendidos para os sistemas vivos e até mesmo sistemas sociais complexos; noções de adaptação e evolução, vida e inteligência foram estendidas para além da esfera biológica para modelos computacionais.

Uma possibilidade de contribuição mais significativa da pesquisa em sistemas complexos seria, por exemplo, o questionamento de pressupostos científicos anteriores e o desenvolvimento de novas formas de conceituar problemas complexos, usando não-linearidade, controle descentralizado, redes, hierarquias, *feedback* distribuído, representações estatísticas de informação e aleatoriedade (ARTHUR, 2013).

No primeiro modelo teórico de evasão fiscal, proposto por Allingham e Sandmo (1972), por exemplo, os indivíduos são perfeitamente racionais e representativos, isto é, um representa a média dos demais da população. As contribuições desse modelo serão apresentadas na Seção 2.3. Atualmente, com a complexidade e a simulação computacional, é possível evoluir o modelo de Allingham e Sandmo (1972), considerando, por exemplo, que os agentes podem ter preferências individuais distintas, de modo que um indivíduo não seria considerado representativo dos demais da população (CHEN, 2012).

Dessa forma, a complexidade tem sido considerada uma abordagem analítica apropriada em ciências sociais. É possível considerar sistemas caracterizados pela autonomia, pela heterogeneidade e pela interação entre indivíduos. Além disso, permite múltiplos fatores interligados que são necessários para compreender a vida social de forma mais abrangente (AXELROD, 2006; MILLER; PAGE, 2009).

2.1.2 Modelagem baseada em agentes

Uma Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA) é um modelo computacional que simula ações e interações de agentes autônomos com o objetivo de avaliar seus efeitos sobre o sistema como um todo, dando origem a fenômenos emergentes. Apesar de haver conceitos relacionados com a MBA, o Sistema Multiagentes (SMA) é uma área de pesquisa da Inteligência Artificial Distribuída (ou *Distributed Artificial Intelligence*) (DAI), que tem como objetivo

“[...] desenvolver mecanismos e métodos que permitam aos agentes interagir entre si tão bem (ou melhor) quanto os humanos, assim como o de compreender as interações entre entidades inteligentes, sejam humanas, computacionais ou ambas. Este objetivo gera um certo número de desafios, todos ao redor da questão fundamental de **quem interage com quem e quando**”(WEISS, 1999 apud SICHMAN, 2003, p. 1).

O de uma MBA, entretanto, é buscar uma visão explicativa sobre o comportamento coletivo dos agentes (independente de possuir inteligência), que seguem regras relativamente simples e que interagem entre si, resultando em um comportamento coletivo auto-organizado emergente, sem um controle central (EPSTEIN; AXTELL, 1996).

Figura 1 – Visão geral de agente. Fonte: Weiss (1999). Um agente em seu ambiente. O agente recebe estímulos sensoriais do ambiente e produz, como saída, ações que afetam esse ambiente. A interação é geralmente contínua; não se encerra.

Não obstante, há uma considerável sobreposição de conceitos entre MBA e SMA.

“Um agente é uma entidade física ou virtual (a) capaz de agir num ambiente; (b) capaz de se comunicar com outros agentes; (c) que é movida por um conjunto de inclinações (sejam objetivos individuais a atingir ou uma função de satisfação a otimizar); (d) que possui recursos próprios; (e) que é capaz de perceber seu ambiente (de modo limitado) (f) que dispõe (eventualmente) de uma representação parcial deste ambiente; (g) que possui competência e oferece serviços; (h) que pode eventualmente se reproduzir; (i) e cujo comportamento tende a atingir seus objetivos utilizando as competências e os recursos que dispõe e levando em conta sua percepção, suas representações internas e as comunicações que recebe”(FERBER, 1995 apud SICHMAN, 2003, p. 15).

A origem da MBA remonta ao matemático John von Neumann, o criador do primeiro projeto teórico de uma máquina capaz de se reproduzir. A essência do programa de computador é usar a mesma informação armazenada na memória de duas maneiras: uma, como instruções a serem executadas; outra, como dados a serem utilizados, isto é, impressos por essas instruções. Dessa forma, é evitada uma regressão infinita. Assim, ele construiu um Processador (ou *Central Processing Unit*) (CPU) teórico que comunicava com uma Memória de Acesso Aleatório (ou *Random Access Memory*) (RAM), em que ambos programas e dados poderiam ser armazenados. Essa idéia permanece nos atuais computadores modernos (MITCHELL, 2009).

Na tentativa de formalizar essa lógica de auto-replicação em máquinas, mostrando que são equivalentes à máquina universal de Turing, von Neumann criou os Autômatos Celulares (ou *Cellular Automata*) (CA).

O autômato celular é o modelo mais simples de um sistema complexo observado na natureza. É formado por um grande número de células (componentes simples) sem controle central. Cada célula pode ter um estado qualquer em resposta aos estados da sua vizinhança. Os CA podem apresentar um comportamento complexo, difícil ou impossível de prever, a partir da regra de atualização das células.

Fazendo um comparativo com a máquina universal de Turing, a configuração de estados das células corresponde ao papel da fita da máquina (aquela que codifica o programa e os dados da máquina a serem executados); a regra de atualização das células, ao conjunto de regras da máquina; e as atualizações das células, em cada instante de tempo, à iteração da máquina.

Em 1970, John Conway construiu o autômato celular, chamado de *Game of Life* (MITCHELL, 2009). Ao contrário da máquina de von Neumann, o *Game of Life* de Conway é executado por regras relativamente simples em um ambiente virtual na forma de um tabuleiro de xadrez bidimensional.

Cada célula tem quatro “vizinhos” (vizinhança de von Neumann), que são as células adjacentes, em cinza na Figura 2a, ou oito “vizinhos” (vizinhança de Moore), incluindo as células diagonais, em cinza na Figura 2b.

Figura 2 – Representação simplificada de um autômato celular e sua vizinhança.

Cada célula pode apresentar dois estados: vivo ou morto. Os estados de todas as células em um instante são considerados para calcular o estado de todas as células no instante seguinte. O estado de cada célula evolui no tempo, através de regras de atualização de estado. Essas atualizações são simultâneas conforme a seguir (GARDNER, 1983):

$$a_{i,j}^{(k+1)} = \begin{cases} a_{i,j}^{(k)}, & \text{se } \sum^n a_n = 2 \\ 1, & \text{se } \sum^n a_n = 3 \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (1)$$

onde a notação $\sum^n a_n$ representa a soma das células vizinhas de (i, j) .

Essa regra de transição se refere à vizinhança de von Neumann e representa quatro possibilidades de vida: nascimento, sobrevivência, solidão e aglomeração. Por considerar o estado anterior de cada célula, a evolução do autômato celular é determinada pelo estado inicial. Os resultados apresentados foram surpreendentes. Foi possível, por exemplo,

observar um padrão de comportamento das células: fixo, oscilatório, alternância de fase etc.

O modelo dinâmico de segregação de Schelling (1971) é um modelo teórico que estabelece conceitos básicos da Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA), como agentes autônomos que interagem entre si em um ambiente compartilhado. Segundo ele, não há correspondência entre incentivo individual e resultados coletivos, pois, fenômenos inesperados, como espaços vagos ou concentrados, são gerados. Usando moedas e papel quadriculado, ele mostrou como um alto grau de segregação pode emergir a partir das escolhas de indivíduos bastante tolerantes à segregação, o qual ele denomina “teoria geral da inflexão”. Logo, conclui que não se pode inferir os motivos individuais a partir dos padrões de comportamento coletivo, pois alguns fenômenos inesperados, como a aglomeração e a ausência local de indivíduos, são gerados. O comportamento coletivo é mais do que um simples somatório de comportamentos individuais (SCHELLING, 1978).

A MBA é um método para estudar os sistemas que exibem as propriedades de interação entre os agentes e de emergência. Análises matemáticas tradicionais de um sistema, em que os agentes se adaptam ao seu ambiente (por aprendizagem ou por evolução), têm se mostrado limitadas (MILLER; PAGE, 2009).

Com o avanço da tecnologia, ferramentas novas e modernas são desenvolvidas, sendo possível construir modelos mais realistas sem descartar a simplicidade necessária à modelagem de sistemas complexos. Dessa forma, aliada à simulação computacional, a MBA se apresenta como alternativa para analisar sistemas que apresentam propriedades da complexidade. Por essa razão, o uso da MBA se adequa à modelagem de fenômenos sociais (AXELROD; TEFATSION, 2005).

Sob o enfoque de modelos das ciências sociais, algumas vantagens do uso de simulações computacionais incluem baixo custo de implementação e exploração de novas questões usualmente excluídas nas ferramentas tradicionais de pesquisa. Com as simulações computacionais, é possível considerar qualquer número de agentes, interagindo em um ambiente dinâmico, em um determinado espaço e tempo. Assim, ela pode constituir uma pesquisa exploratória inicial que geraria subsídios à busca de novas abordagens de questões inexploradas em ciências sociais. Cada metodologia científica empregada pode ser um complemento ou um substituto de outra.

A MBA é modelada a partir de hipóteses sobre os agentes e suas interações. Em seguida, utiliza a simulação, em um ambiente virtual. Dessa forma, é possível analisar o comportamento dinâmico coletivo, resultado dessas suposições (GRIMM et al., 2006). Por essa metodologia de pesquisa descrita (APPOLINÁRIO, 2006), ela se aproximaria de uma análise “dedutivo-indutivo”, pois, primeiramente, um modelo abstrato é construído a partir do mundo real, acerca da qual formula hipóteses. Em seguida, é realizada uma

simulação desse modelo, apresentando resultados dos quais é feita uma análise. Por meio dessa análise, é testada a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese, e obtém-se determinadas conclusões gerais.

A simulação computacional é considerada por [Axelrod e Tesfatsion \(2005\)](#) uma terceira forma de fazer ciência.

“Cientistas usam dedução para resultar teoremas de hipóteses, e indução para encontrar padrões em dados empíricos. Como dedução, a simulação se inicia com um conjunto de pressupostos explícitos; no entanto, ela não prova teoremas com generalidade (como a dedução típica), mas gera dados adequados para análise por indução. Por outro lado, os dados simulados vêm de um conjunto de hipóteses rigorosamente especificados sobre um sistema, real ou proposto, em vez de medições diretas do mundo real (como a indução típica). Consequentemente, a simulação difere da dedução e da indução, tanto em sua implementação quanto em seus objetivos. Ela permite uma maior compreensão dos sistemas através de experimentos computacionais controlados”(AXELROD; TESHATSION, 2005, tradução livre, p. 4).

Os quatro objetivos específicos de pesquisas em [MBA](#) são ([AXELROD; TESHATSION, 2005](#)):

1. objetivos empíricos: buscar explicações causais baseadas em interações repetidas de agentes que operam em ambientes particulares;
2. objetivos normativos: interesse em avaliar se projetos propostos para as políticas sociais, instituições ou processos resultarão no desempenho do sistema socialmente desejável ao longo do tempo;
3. objetivos heurísticos: mesmo que as hipóteses usadas para modelar um sistema social sejam simples, as conseqüências dinâmicas no coletivo podem não ser óbvias;
4. objetivos metodológicos: explorar desde uma análise cuidadosa dos princípios metodológicos para o desenvolvimento prático de ferramentas de programação e visualização.

“Um desafio, comum a todas as técnicas de modelagem, é que o modelo deve ser construído num nível correto de descrição dos fenômenos, usando uma quantidade adequada de detalhes, para servir ao seu propósito. Outro desafio envolve a utilização da [MBA](#) nas ciências sociais, que geralmente envolvem seres humanos com comportamentos potencialmente irracionais, de escolhas subjetivas e psicologia complexa, aspectos difíceis de quantificar, calibrar e muitas vezes justificar.”(LIMA et al., 2009, p. 5282).

Ademais, as simulações computacionais são flexíveis e precisas. A flexibilidade permite capturar uma variedade de classes de comportamentos, evitando-se a adoção de um conjunto restrito de pressupostos, ou seja, é possível considerar a heterogeneidade dos agentes.

Sobre a precisão, ela requer uma clara definição dos componentes inseridos no modelo, sendo necessário atender a um bom nível de consistência lógica (MILLER; PAGE, 2009), fundamental na modelagem científica. Smith (1974 apud BOCCARA, 2004, p. 4) considera que um bom modelo deve incluir o mínimo possível, enquanto uma boa simulação deve incluir o máximo de detalhes possível.

“Outro desafio está relacionado à própria definição da MBA, a qual trata um sistema no nível de suas unidades constituintes, o que exige elevado poder computacional e tempo para simulação do modelo, conforme a escala e a complexidade modelada”(LIMA et al., 2009, p. 5282).

Cada vez mais, a Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA) está sendo implementada utilizando linguagens de Programação Orientada a Objetos (ou *Object-Oriented Programming*) (OOP), tais como Java, C++ e C# (AXELROD; TESSER, 2005), pois é possível correlacionar agentes e objetos ao observar as propriedades semelhantes entre eles. Os objetos são definidos como entidades computacionais que encapsulam algum estado, capazes de executar ações ou métodos neste estado, e se comunicam através de mensagens.

Oliver, Kelliher e Keegan (1997) enumeram as especificações principais de objetos. São elas:

- ❑ nome do objeto;
- ❑ todas as propriedades do objeto que são importantes para o problema de interesse;
- ❑ todas as tarefas, as ações ou as funções que são desempenhadas pelo objeto que são importantes para o problema de interesse;
- ❑ todas as entradas que o objeto aceita e as saídas que gera;
- ❑ todas as suas interfaces, ou seja, como se conectar ao objeto.

As especificações de objeto listadas apresentam semelhanças com a Figura 1.

Há duas formas disponíveis para a implementação de uma MBA: através de *toolkits* e softwares.

“As *toolkits* fornecem um framework conceitual que permite organizar e projetar modelos baseados em agentes através de bibliotecas de software que incluem rotinas e funcionalidades projetadas especificamente para MBA. A utilização de *toolkits* reduz a carga de trabalho com a programação de partes que não são específicas da modelagem/simulação, tais como: interfaces gráficas com usuário (GUI - *Graphical User Interface*), importação e exportação de dados, visualização e exibição do modelo. Porém, apresenta como desvantagens o grande esforço inicial para compreender como implementar modelos e entender a linguagem de programação utilizada pela toolkit.”(LIMA et al., 2009, p. 5282).

Os *toolkits* para [MBA](#) mais usados são: o Swarm, o *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit* ([Repast](#)) e o NetLogo. O [Repast](#) foi desenvolvido pela Universidade de Chicago, enquanto o Swarm foi desenvolvido pela Universidade de Santa Fé, embora atualmente é mantido pelo *Swarm Development Group* ([SDG](#)). Ambos são recomendados para aqueles com experiência em linguagem de Programação Orientada a Objetos (ou *Object-Oriented Programming*) ([OOP](#)). O NetLogo é a última geração das linguagens [MBA](#) do Star Logo ([NIAZI; HUSSAIN, 2009; LIMA et al., 2009](#)).

Como exemplo, [Mittone e Patelli \(2000\)](#) propuseram o primeiro modelo de evasão fiscal em [MBA](#), usando o pacote Swarm. [Bloomquist \(2006\)](#) implementou o *Tax Compliance Simulator* em NetLogo.

“Os softwares são úteis para o desenvolvimento rápido de modelos básicos ou protótipos. Como desvantagens, os modeladores ficam restritos à concepção de modelos especificados pelo software, além de se limitarem às funcionalidades fornecidas por ele (ao contrário das *toolkits* que permitem a extensão de suas funcionalidades e integração de novas ferramentas)” ([LIMA et al., 2009](#), p. 5282).

[Axelrod e Tesfatsion \(2005\)](#) recomenda, aos mais experientes com as linguagens de [OOP](#), desenvolver nessas linguagens, como Java, C#, C++, Visual Basic.Net, Python, MatLab, complementado com um conjunto de ferramentas baseado em agentes.

“Quanto maior a facilidade fornecida pela ferramenta para construir modelos, maiores limitações apresentará em termos de flexibilidade. [...] Desta forma, a melhor ferramenta é a que apresenta melhor relação facilidade x flexibilidade de acordo com as necessidades específicas de cada usuário/problema” ([LIMA et al., 2009](#), p. 5285).

2.1.3 Redes complexas

Redes são conjuntos de elementos que se relacionam entre si. O estudo de redes teve início no século XVIII, a partir dos estudos de Leonard Euler sobre as pontes de Königsberg, originando a teoria dos grafos.

Um grafo é composto por um conjunto de vértices (nós) que são interligados por meio de arestas. De acordo com o problema modelado, essas arestas podem ser direcionadas e/ou ponderadas, estabelecendo algum tipo de relação entre dois vértices ([COSTA et al., 2007](#)).

A teoria dos grafos era utilizada com a finalidade de estudar o comportamento da sociedade e a relação (arestas) entre os indivíduos (nós), tais como: a centralidade (o nó mais central) e a conectividade (nós com maior número de conexões). O avanço da tecnologia alterou os rumos das pesquisas em redes: ganham foco as estruturas de redes de larga escala, diferentes das redes regulares, o que aproxima daquela observada no mundo real ([ALBERT; BARABÁSI, 2002; NEWMAN, 2003; BARABÁSI, 2003](#)).

O termo “redes complexas” se refere a um grafo que apresenta uma estrutura topográfica não trivial, que não segue um padrão regular (BARABÁSI, 2003). Logo, nem todo grafo pode ser considerado uma rede complexa.

As redes complexas apresentam algumas propriedades, tais como:

- **Conectividade.** O grau (k) de um vértice A em uma rede define o número de arestas que conectam com A e, portanto, quantos vértices conectados A possui. Desse modo, o grau de distribuição (p_k) fornece a probabilidade de que um vértice selecionado aleatoriamente na rede tem grau k .
- **Coefficiente de aglomeração (C_i).** Quando o vértice A está conectado ao B e este ao C , aumenta as chances do vértice A também estar conectado ao C , formando, nesse exemplo, um agrupamento de três vértices (ΔABC). Esse fenômeno é chamado de transitividade (COSTA et al., 2007).

$$C_i = E_i \times \frac{1}{\frac{k_i(k_i-1)}{2}} \quad (2)$$

onde E_i é o número de arestas que conectam os vizinhos do vértice i .

O modelo mais simples de uma rede complexa é a rede aleatória, proposta por Erdős e Rény. É definida pelos parâmetros N e p . Dado um número de nós (N), cada uma das possíveis arestas existe com uma probabilidade p . A distribuição dos graus é independente do tempo.

Na Figura 3, é apresentada uma simulação de uma rede Erdős-Rény para $N = 10$ e diferentes valores de p . Observe que para $p = 0$, todos os nós estão isolados. Por outro lado, para $p = 100\%$, todos os nós estão conectados entre si.

O grau de distribuição de um grafo aleatório segue a distribuição de Poisson com o pico em $P(\langle k \rangle)$ (ALBERT; BARABÁSI, 2002). O grau médio de um vértice é definido como:

$$\langle k \rangle = p(N - 1) \quad (3)$$

2.2 Neoinstitucionalismo

Ao final do século XIX, o advento do Estado do Bem-Estar Social incorpora ao papel do governo a promoção de políticas públicas direcionadas à área social, a partir da constatação de inúmeras distorções na alocação de recursos e distribuição de renda, decorrentes de falhas de mercado (GIAMBIAGI; ALÉM, 2008). Um exemplo significativo

Figura 3 – Simulação de uma rede Erdős-Rényi para $N = 10$ e diferentes valores de p .

das falhas de mercado consiste na existência de externalidades e seu efeito no equilíbrio econômico, resultando em ineficiências (PINDYCK; RUBINFELD, 2006; VARIAN, 2006). A intervenção governamental é um dos mecanismos de correção de alocações ineficientes dos recursos produtivos, assim como de busca por justiça distributiva. Nesse modelo, as políticas públicas são planejadas e desenvolvidas para evitar essas ineficiências, assumindo um caráter preventivo.

A intervenção do governo via mecanismos de mercado pode, potencialmente,

“[...] influenciar os incentivos privados dos indivíduos ou empresas de forma que passem a levar em consideração o impacto das suas ações, negativos ou positivos, sobre os outros agentes econômicos. [...] Em outras palavras, o governo visa encontrar um mecanismo que faça os agentes econômicos internalizarem a externalidade. As suas formas principais de intervenção são a colocação de um imposto (ou multa), a introdução de um subsídio e a venda de direitos de poluição.”(BIDERMAN; ARVATE, 2004, p. 26).

Assim, além de apresentar uma função fiscal (arrecadação de recursos para financiamento das atividades do governo), os tributos também apresentam uma função extrafiscal, ou seja, constituem um instrumento de incentivo à promoção de mudança social ou econômica (STIGLITZ, 2000).

O cumprimento das funções de governo (alocativa, distributiva e estabilizadora) requer a obtenção de recursos financeiros através de dois meios: *receitas originárias*, decorrentes do patrimônio do Estado, e *receitas derivadas*, decorrentes do patrimônio do particular, de forma compulsória, incluindo tributação (GIAMBIAGI; ALÉM, 2008; CARVALHO, 2010).

Ao utilizar o poder de tributar, o Estado edita uma lei obrigando os indivíduos a contribuir para composição de recursos públicos. Na legislação brasileira, o tributo é definido como:

“[...] toda prestação pecuniária compulsória, em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada”(BRASIL, 1966, art.3º, Código Tributário Nacional (CTN)).

Além disso, o Estado dispõe da lei como instrumento para desestimular o cidadão a praticar delitos, sob ameaça de sanção. Há dois meios ilícitos de descumprimento dessa obrigação tributária pelo contribuinte: a evasão fiscal e a elusão fiscal. O tema desta dissertação é a evasão fiscal, ou sonegação, que constitui crime contra a ordem tributária pelo ato de suprimir ou reduzir tributo (BRASIL, 1990, Lei nº 8.137).

O tema da evasão fiscal tem sido investigado no campo das políticas públicas, da aplicação da lei, do design institucional, da oferta de mão-de-obra ou da ética (ANDREONI; ERARD; FEINSTEIN, 1998; SLEMROD; YITZHAKI, 2000; AUERBACH; JR., 2002).

O objeto de estudo desta dissertação, apresentado no [Capítulo 1](#), é a obediência tributária (*tax compliance*) no âmbito da escolha do contribuinte (*taxpayer behavior*).

Além da abordagem jurídica, a evasão tem sido tratada como fenômeno social estudado individualmente sob as perspectivas econômicas ([AUERBACH; JR., 2002](#)), psicológicas, sociais e culturais. O fenômeno da evasão é investigado nesta dissertação a partir de uma abordagem interdisciplinar, buscando a integração de perspectivas provenientes de diferentes áreas de conhecimento, através dos pilares constituídos pela teoria da complexidade, modelagem computacional e redes complexas.

Nesse sentido, a revisão da literatura buscou responder as seguintes indagações:

- ❑ Como detectar e punir o contribuinte que não paga seus tributos?
- ❑ O crime de sonegação compensa para o contribuinte?
- ❑ Quais são os fatores que influenciam nessa decisão do contribuinte?
- ❑ Quais são os meios do governo para combater a sonegação?
- ❑ O sacrifício de recursos públicos no combate à sonegação compensa?

Mesmo sob ameaça de punição (através de multa, reclusão, detenção, cancelamento da inscrição do contribuinte etc.), conforme previsto por lei, ainda há significativo contingente de indivíduos dispostos a praticar delitos, situação analisada por [Becker \(1968\)](#) em publicação clássica sobre as bases teóricas da “economia do crime”. Segundo [Becker \(1968\)](#), o indivíduo racional busca maximizar a utilidade esperada na prática de um crime a partir de elementos de incerteza existentes quanto à probabilidade de detecção do crime e aplicação da punição ([Figura 4](#)). A punição está relacionada à ideia de justiça e de ordem das relações sociais e ao princípio da segurança jurídica.

Figura 4 – Proposta de modelo de ação do setor público para redução de criminalidade.

A ideia de justiça e de ordem das relações sociais e a garantia do princípio da segurança jurídica introduz uma discussão sobre as instituições públicas ([NORTH, 1990](#)), fundamentais na regulação do comércio interno e externo e, portanto, na criação de um

ambiente favorável para o desenvolvimento econômico de um país, na medida em que, por exemplo, podem tornar o custo-benefício mais atrativo para um agente cumprir suas obrigações tributárias do que sonegar.

Há um indicador de confiança na justiça de cada país, elaborado pelo [Banco Mundial \(2013\)](#)¹. Capta a percepção coletiva da confiança dos agentes nos tribunais e na polícia e, em particular, no respeito às regras da sociedade. A percepção coletiva sobre a confiança na justiça brasileira é de que a atuação do Estado de Direito é menos eficiente e justa do que na do Chile, por exemplo. Até que ponto a percepção coletiva sobre a justiça de um determinado país influencia no desenvolvimento econômico e social de um país?

Para North, “as instituições constituem as regras do jogo numa sociedade; mais formalmente, representam os limites estabelecidos pelo homem para disciplinar as interações humanas. Conseqüentemente, e em compensação, estruturam incentivos de natureza política, social e econômica” (NORTH, 1998, p. 7). Essas regras podem ser formais (como as leis) ou informais (como os costumes), disciplinando a forma como os agentes interagem na sociedade. Logo, as instituições determinam os custos de transação e produção.

Williamson definiu o termo *custo de transação* como os custos comparativos de planejar e monitorar as estruturas de governança (WILLIAMSON, 1985). Para North, os custos de transação são aqueles a que estão sujeitas todas as relações de troca entre os agentes econômicos (NORTH, 1998). Suas variáveis são:

- ❑ o custo da quantificação dos atributos de valor dos bens e serviços ou do desempenho dos agentes, associado a um tipo específico de incerteza institucional, relacionado à assimetria de informação. Além disso, incluem-se os custos adicionais para proteção de direitos de propriedade, normalmente especificados de forma imperfeita ou incompleta. Por essa razão, estes custos são altos ou imprevisíveis;
- ❑ o tamanho do mercado, que determina se é pessoal ou impessoal. Essa variável influencia no comportamento dos agentes ao dificultar na elaboração dos contratos, como inserir cláusulas de proteção caso haja descumprimento de um contrato;
- ❑ o custo relacionado à ausência da garantia de cumprimento de obrigações assumidas, responsável pelos custos com a ineficiência e a complexidade dos sistemas jurídicos aos quais as partes poderão recorrer;
- ❑ e, por fim, atitudes ideológicas e percepções, sendo função direta dos custos inerentes à avaliação e à execução de contratos.

As próprias regras determinadas pelas instituições resultam em um aumento dos custos de transação, como é o caso de regras de obrigações acessórias. Para o contribuinte cum-

¹Ver também Anexo I

prir sua obrigação tributária principal de pagar um determinado tributo para o governo, por exemplo, são necessárias diversas providências que não estão relacionadas diretamente com o ato de pagar. Há necessidade, muitas vezes, de cumprir obrigações acessórias, como o preenchimento de uma declaração de imposto, o fornecimento de nota fiscal, a manutenção das escrituras contábeis etc. A obrigação acessória tem por objeto as prestações de fazer ou não fazer, previstas na legislação no interesse da arrecadação ou da fiscalização dos tributos (BRASIL, 1966, art.113, § 2º).

“As instituições são formadas para reduzir incertezas por meio da estruturação das interações humanas, o que não significa implicitamente que os resultados serão eficientes, no sentido dado a esse termo pelos economistas. A questão é tanto o significado da racionalidade como as características das transações, que impedem que os atores atinjam, em conjunto, o resultado ideal de um modelo de custo de transação zero” (NORTH, 1998, p. 15).

Além disso, quando a legislação é complexa, confusa ou ambígua, muitas vezes, há necessidade de contratar serviços de assessorias jurídica e contábil, resultando ainda em um custo de transação maior.

Cabe destacar também que as incertezas institucionais não estão restritas às regras formais e informais; também dependem das punições aos desonestos. Por essa razão, as próprias instituições criam mecanismos de prevenção e punição pela infração cometida, aumentando os custos de transação.

“Polinsky e Shavell (2007 apud SINPROFAZ, 2013a, pp. 406-407) ressaltam que são quatro as escolhas públicas normalmente tomadas quanto à repressão aos transgressores das leis. A primeira escolha diz respeito ao tipo de pressuposto adotado pelo Estado para atribuir responsabilidade a determinado cidadão pelo descumprimento de regra de Direito, se o pressuposto da responsabilidade objetiva ou se o fundamento da responsabilidade subjetiva. O segundo ponto a ser considerado é se a sanção será monetária ou não monetária, ou se haverá a mescla dos dois tipos de sanção. A terceira escolha a ser feita, segundo os autores, diz respeito ao quantum da pena. E a quarta e não menos importante escolha pública diz respeito à probabilidade de detectar e de efetivamente punir os transgressores. Esta última variável está diretamente relacionada ao montante de recursos que o Estado está disposto a empregar para encontrar e efetivamente punir aqueles que descumprirem as leis. É bem verdade que muitos Estados têm investido e sofisticado a estrutura de repressão aos sonegadores de modo a aumentar a probabilidade de detecção dos casos de sonegação. Entretanto, apesar dos esforços, algum nível de sonegação continua e continuará a existir em todos os países, até porque o aparato estatal necessário para descortinar cem por cento dos casos de sonegação seria tão custoso que inviabilizaria o próprio sistema tributário” (SINPROFAZ, 2013a).

No Capítulo 1, observamos que a busca pela cidadania tem relação com a questão fiscal, pois nenhum benefício social está disponível sem que haja política pública; e não

há política pública sem que haja recursos públicos, que é proveniente principalmente da arrecadação de tributos (GIAMBIAGI; ALÉM, 2008). Logo, se o tributo tem a função social de arrecadar para melhorar a qualidade de vida da sociedade, é preciso buscar eficiência dos gastos públicos, a otimização da aplicação dos recursos e o combate à sonegação e à corrupção.

Além disso, observamos que o governo, ao aumentar a carga tributária ou ao conceder subsídios, indiretamente utiliza o tributo como instrumento de intervenção na economia: na redução das desigualdades regionais, na melhor distribuição de renda, no incentivo ao desenvolvimento de determinados setores da economia e na regulação do comércio interno e externo conforme a teoria econômica clássica (PINDYCK; RUBINFELD, 2006).

Ao discutirmos nessa seção sobre a teoria dos custos de transação, destacamos que as instituições públicas criam tributos como fonte de receita para financiar bens e serviços públicos; conseqüentemente, criam custos de transação nas relações comerciais. Isso estimula, por exemplo, o desenvolvimento das relações mercantis informais, o que dificulta a cobrança dos tributos, dando abertura à sonegação. Quanto maior o número de sonegadores, maior será a ineficiência das instituições públicas do ponto-de-vista da percepção coletiva. Logo, menores são os custos de oportunidade para sonegar, incentivando a transgressão à lei. A sonegação afeta a arrecadação, prejudicando, por fim, a disponibilidade de bens públicos por parte do Estado.

“O custo de uma transação decorre dos altos custos da informação e do fato de que as partes de uma transação detêm informações de forma assimétrica. Em vista disso, embora os atores criem instituições para estruturar as interações humanas, o resultado será sempre uma certa medida de imperfeição nos mercados. Na verdade, os incentivos gerados pelas instituições passam sinais confusos às partes e, assim, mesmo nos casos em que um arcabouço institucional é mais propício do que a estrutura institucional anterior para que se ganhe com as transações, sempre haverá incentivos à trapaça, aos aproveitadores etc., o que contribuirá para um mercado imperfeito” (NORTH, 1998, p. 16).

Quando há a percepção coletiva de que as instituições públicas não estão cumprindo seu papel, quebra-se a relação de identidade e de confiança entre elas e a sociedade.

“O grau de identidade existente entre as normas institucionais e as opções feitas pelo indivíduo no contexto institucional dependem da eficácia do sistema de fiscalização do cumprimento de tais normas. Essa fiscalização é exercida pela primeira parte (códigos de conduta auto-impostos), pela segunda parte (represálias) ou por uma terceira parte (sanções por parte da sociedade ou exigência coercitiva por parte do Estado)” (NORTH, 1998, p. 11).

Em suma, custos de transação decorrem de incertezas institucionais. Quando há percepção coletiva de que as instituições não estão cumprindo seu papel, os custos de transação aumentam, incentivando os agentes a transgredir à lei. A relação de confiança entre

as normas institucionais e as escolhas feitas pelo contribuinte dependem da eficácia da fiscalização do cumprimento de tais normas. Trata-se, portanto, de um processo de desenvolvimento institucional que se adapta às perspectivas dos contribuintes (pessoas físicas ou jurídicas).

“Um mercado eficiente é consequência de instituições que, em determinado momento, oferecem avaliação e execução contratuais de baixo custo. Para que seja duradoura, é essencial haver instituições econômicas e politicamente flexíveis, que se adaptem às novas oportunidades. Tais instituições eficientes e adaptáveis têm que oferecer incentivos para a aquisição de conhecimentos e instrução, promover inovações e estimular a disposição de correr riscos e a criatividade.” (NORTH, 1998, p. 11).

Um dos objetivos desta dissertação é comparar a evolução da evasão fiscal (representada pela quantidade de declarações de imposto recebidas) e a da fiscalização do governo (representada pelo número aproximado de contribuintes fiscalizados). A fiscalização é uma atividade do governo que sacrifica parte dos recursos públicos, como mecanismo de combate à evasão fiscal (prevenção e punição) e de recuperação de tributos sonegados. Na linha do desenvolvimento institucional, o modelo proposto inclui a dinâmica do governo, adequando à característica de adaptação e de flexibilidade dos contribuintes, a partir da interação com a sociedade.

2.3 Modelos de evasão fiscal

O primeiro modelo de evasão fiscal, a partir das bases teóricas da “economia do crime”(BECKER, 1968), foi proposto por Allingham e Sandmo (1972). Influenciados pelos estudos de Becker (1968), observaram que a decisão de evasão de impostos é uma decisão feita sob situação de incerteza, pois não há certeza sobre a punição da prática do crime fiscal.

Segundo o modelo, na visão do contribuinte, suas obrigações tributárias, sejam cumpridas ou não, somente serão reconhecidas pelo governo, por meio de fiscalização. Por outro lado, na visão do governo, devido à possibilidade de sonegação pelo contribuinte, é preciso adotar mecanismos de prevenção (por exemplo, a aplicação da norma), de detecção (por exemplo, a fiscalização) e de punição (por exemplo, a aplicação de penalidades) para coibir a prática do crime de evasão fiscal (ALLINGHAM; SANDMO, 1972).

Das diferentes visões do ato tributário, identificam-se dois *trade-offs*: um relacionado ao contribuinte (diante da escolha entre o benefício de sonegar e o risco de ser fiscalizado e punido) e outro relacionado ao governo (diante da escolha entre o esforço despendido em fiscalização e o benefício proporcionado ao recuperar recursos tributários sonegados). Um dos objetivos desta dissertação é verificar a relação entre o percentual de contribuintes

que declaram o imposto e os que são repreendidos através da fiscalização, combinando as variáveis que influenciam as decisões do contribuinte e do governo, a fim de compreender o fenômeno da evasão fiscal.

Do ponto de vista da racionalidade coletiva, que prevê cooperação dos contribuintes à promoção do bem-estar social, através da decisão voluntária de cumprir suas obrigações tributárias, haveria maior ganho social, caso houvesse a obtenção de um nível elevado de arrecadação de tributos sem custo de fiscalização. No entanto, ao analisar a racionalidade individual, a sonegação pode ser uma estratégia que proporciona a recompensa mais vantajosa (ALLINGHAM; SANDMO, 1972).

Uma explicação possível para o fenômeno da evasão advém da Teoria Econômica: o efeito carona. O efeito carona explica que um indivíduo racional pode preferir evasão de impostos no nível coletivo, ainda que os custos individuais da contribuição tributária sejam menores do que os benefícios sociais usufruídos no contexto das políticas públicas financiadas pelo governo. Isso porque ele poderia maximizar sua utilidade marginal, usufruindo sem contribuir, pois o benefício social é um bem público; logo, está disponível à sociedade, sendo impraticável discriminar quem contribuiu ou não (ALLINGHAM; SANDMO, 1972).

A mera escolha do contribuinte baseada no interesse individual (ou seja, a escolha de evasão fiscal) produz consequências negativas do ponto de vista social, tais como a diminuição da receita pública e o aumento dos custos na fiscalização. Pode, ainda, existir um custo adicional à sociedade, por exemplo, um aumento da alíquota dos impostos na tentativa de atingir a meta de arrecadação e compensar a sonegação, o que resultaria na sensação de injustiça social, pois os contribuintes honestos arcariam com o ônus dos impostos. Consequentemente, o governo tem algumas opções de ação contra a evasão tributária, como aplicar incentivos negativos (isto é, mecanismos de coerção) sobre os inadimplentes, ou, alternativamente, prover incentivos positivos (isto é, mecanismos de recompensa) sobre os contribuintes honestos (ALLINGHAM; SANDMO, 1972).

Nesta dissertação, propõe-se um modelo baseado no comportamento do contribuinte e do governo, analisando globalmente a evolução dos seguintes dados que representem: fração aproximada de contribuintes que serão fiscalizados pelo governo (a cada iteração t) (ρ_t), fração de contribuintes que não sonegam o imposto (d_t) e fração de contribuintes que serão fiscalizados na opinião da sociedade (F_t). Além disso, busca-se verificar se as ações do governo produzem efeitos como mecanismo de prevenção que coíba a sonegação, através da variável σ_t , fração de contribuintes repreendidos (isto é, os que sonegaram o imposto em $t - 1$ e são fiscalizados em t).

Ainda no modelo de Allingham e Sandmo (1972), o contribuinte escolhe quanto declara de sua renda, de modo a maximizar a utilidade esperada. A escolha é influenciada pela probabilidade de ser fiscalizado e o montante da multa cobrada como punição pelo crime

de sonegação. Os autores concluem que os contribuintes tendem a declarar uma parte de sua renda para maximizar seus ganhos, não declarando o valor dos rendimentos em sua totalidade.

Os resultados de evasão fiscal obtidos no modelo proposto por Allingham e Sandmo (1972) são bastante superiores à evasão fiscal estimada por Alm (1991) a partir de dados empíricos: mesmo com uma baixa probabilidade de fiscalização (menor ou igual a 1%), estimou-se que a maioria dos contribuintes declara sua renda real, não cometendo a sonegação. Diante dos resultados controversos apresentados por ambos os estudos, há um interesse particular nesta dissertação em investigar a variável **probabilidade de fiscalização**.

No modelo de Allingham e Sandmo (1972), a **probabilidade de fiscalização** foi considerada uma variável exógena e estática. Antunes et al. (2006), em contraposição, propõem que a estratégia do governo para fiscalizar um contribuinte é desconhecida pelos contribuintes. Logo, a variável **probabilidade de fiscalização** incluída como fator na escolha do contribuinte, de fato, é uma probabilidade “percebida” ou “subjettiva” de ser fiscalizado ($P_{i,t}$), não a probabilidade “real” de ser fiscalizado (ρ_t) (HOKAMP; PICKHARDT, 2010).

Pinheiro e Giambiagi (2006) observam o conflito entre *Realidade* versus *percepção da realidade*. Os boatos podem

“[...] ter uma força grande, pois são capazes de direcionar nossas opiniões e decisões a partir de ideias que, apesar de incorretas, nos soam como verdadeiras. (...) Como acontece com o boato, o preconceito ganha força quando reflete “fragmentos de realidade” e parte de um “diagnóstico verossímil”, ainda que não necessariamente verdadeiro, e leva a conclusões que apesar de erradas são “impactantes”, atraentes, fáceis de entender e difíceis de refutar com as informações disponíveis ao cidadão comum. Muitas vezes, a dificuldade de se ter uma avaliação objetiva em relação a uma série de aspectos da vida nacional resulta da dissonância cognitiva entre a realidade e a sua percepção pela população” (PINHEIRO; GIAMBIAGI, 2006, p. 19-20).

Além disso, essa probabilidade “percebida” representa a percepção do contribuinte sobre quantos contribuintes estão sendo fiscalizados pelo governo. Em outras palavras, essa variável pode estar relacionada, por exemplo, com o volume da arrecadação tributária, com o número de contribuintes que declararam seus impostos, ou mesmo, com a percepção de um grupo de contribuintes que trocam informação entre si.

No âmbito do modelo proposto nesta dissertação, a probabilidade “percebida” de fiscalização de cada contribuinte é um parâmetro que, combinada com a percepção dos demais contribuintes, representa uma “probabilidade” da fiscalização na opinião da sociedade (F_t). Ademais, a probabilidade “real” de ser fiscalizado (ρ_t) evolui no tempo, ou seja, ela pode ser alterada ao longo da execução da simulação.

Ainda sobre a já discutida variável **probabilidade de fiscalização**, no modelo de

Allingham e Sandmo (1972), ela foi considerada como igual para todos os agentes. Antunes et al. (2006) propõem que a probabilidade de um agente ser fiscalizado depende da probabilidade de outros agentes também serem fiscalizados, pois o governo possui um orçamento limitado para realizar um número determinado de fiscalizações. Assim, ela não poderia ser igual para todos.

Além dos aspectos anteriormente destacados, considera-se que o comportamento individual do contribuinte é baseado nos fatores intrínsecos ao indivíduo (psicológicos e subjetivos) e extrínsecos (influência social e reputação do governo). Uma retrospectiva sobre os modelos de evasão fiscal são apresentadas em Andreoni, Erard e Feinstein (1998) e Sandmo (2005).

Dos **fatores intrínsecos**, resultados de estudos recentes apontam o denominado fator *tax morale*, que reflete a obrigação moral de pagar impostos (TORGLER; SCHNEIDER, 2009). Alguns pesquisadores acrescentam a existência de *fatores psicológicos*, como culpa e vergonha que alguns indivíduos sentem ao sonegar impostos (WINTROBE, 2001; SOUR, 2004), assim como a existência de *fatores subjetivos*, como a percepção de risco e de justiça em relação à carga tributária (ANDREONI; ERARD; FEINSTEIN, 1998).

No modelo proposto nesta dissertação, são incluídos alguns desses fatores intrínsecos. Os agentes são heterogêneos e têm características individuais próprias, tais como: o **risco individual aceitável** (r_i), representando a aversão do contribuinte ao risco, a **percepção individual sobre a fração de contribuintes que serão fiscalizados** ($P_{i,t}$), representando a primeira impressão de cada contribuinte sobre a fiscalização, antes de qualquer influência social que possibilite alterar sua avaliação, e, por fim, o **decaimento dessa percepção** (m), representando a capacidade adaptativa do contribuinte.

Dos **fatores extrínsecos** ao indivíduo, a literatura tem abordado as *interações sociais* para explicação do fenômeno da evasão fiscal (ZAKLAN; WESTERHOFF; STAUFFER, 2009; KOROBYOW; JOHNSON; AXTELL, 2007; ANDREI; COMER; KOEHLER, 2014). A avaliação do contribuinte sobre a eficácia da fiscalização como mecanismo de prevenção é uma função de sua evasão e da evasão observada praticada pelos inadimplentes ao seu redor. A percepção coletiva sobre a confiança na justiça pode influenciar na decisão do agente de sonegar ou não. Essa percepção é gravada nos códigos de conduta de uma sociedade, reforçando a cultura da honestidade ou da sonegação (COWELL, 1990).

Elster (1989) acrescenta também o conceito de normas sociais, fenômeno que prevê honestidade dos indivíduos desde que acreditem que a conformidade fiscal é um hábito social. A confiança no governo, relacionada à satisfação das políticas públicas ou à reputação diante da corrupção, também influencia no comportamento dos contribuintes (ANDREONI; ERARD; FEINSTEIN, 1998; WINTROBE; GËRKHANI, 2004). Um baixo indicador de efetividade do governo reforça a percepção coletiva de que os tributos não cumprem satisfatoriamente sua função social de prover bens e serviços públicos.

Recentes pesquisas têm investigado fenômenos sociais complexos, desenvolvendo Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA), em que agentes individuais seguem um conjunto de regras e interagem entre si, dando origem a um fenômeno coletivo emergente. São duas principais características da MBA que justificam sua aplicação no objeto de estudo desta dissertação sobre a obediência tributária no âmbito da escolha do contribuinte, a saber: a individualidade dos agentes (relacionados à racionalidade heterogênea e ao conjunto de regras para agentes com preferências heterogêneas) e a adaptabilidade dos agentes (relacionados à interação entre os agentes e ao comportamento dos agentes ao longo do tempo) (ANTUNES et al., 2006). Cada agente considera o seu ambiente de interação para, em seguida, tomar uma decisão conforme o conjunto de regras definidas para o seu perfil de comportamento. Bloomquist (2006) apresenta uma revisão da literatura ao comparar diferentes propostas de MBA para compreender a dinâmica do fenômeno de evasão fiscal.

Mittone e Patelli (2000) propuseram o primeiro modelo MBA de evasão fiscal. Eles consideraram três comportamentos de contribuintes: o dos honestos, o dos imitadores e o dos *free riders*. O comportamento de cada um é caracterizado por uma única função de utilidade, que varia de acordo com os serviços públicos custeados com tributos pagos pelos contribuintes. Eles concluíram que, existe uma relação direta entre a disponibilidade de serviços públicos e o pagamento de impostos. Ademais, a ausência de fiscalização provoca sonegação, mesmo entre os contribuintes inicialmente honestos.

No *Tax Compliance Simulator* de Bloomquist (2006), os contribuintes são definidos por um conjunto de características, como o nível de renda, a renda visível à autoridade fiscal, a percepção da fiscalização, a celeridade de aplicação da lei etc. São realizados simulações computacionais para estimar os efeitos de intimidação da fiscalização no comportamento do contribuinte. Seus resultados indicaram que essa intimidação é influenciada pelas redes sociais: quanto maior a rede social de um agente, menor é a sonegação.

Korobow, Johnson e Axtell (2007) propuseram o modelo *Networked Agent-Based Compliance Model*. Ele instancia um único tipo de agente que pode optar por declarar toda a renda, declarar uma parte da renda ou não declarar nenhuma renda. O modelo explora o impacto relativo de uma rede social simples sobre o comportamento do contribuinte e testa a influência do comportamento individual e coletivo no contribuinte. O modelo também testa as reações dos agentes em relação às fiscalizações, às apreensões, às penalidades e às multas. Foi concluído que, com a existência de redes sociais, a população permanece sonegando em grande parte.

Outro modelo citado na literatura é o de Hokamp e Pickhardt (2010). Nele, há quatro tipos de contribuintes: racionais, imitadores, éticos e confusos. Para tornar o modelo mais realista foram inseridos duas características: a função de utilidade exponencial de cada contribuinte e o lapso de tempo considerado na aplicação de multa caso tenha sido

fiscalizado. Seus resultados sugerem que, as normas éticas e os efeitos do lapso de tempo reduzem a sonegação substancialmente. No entanto, se esse lapso já estiver incorporado, os padrões éticos parecem ter pouca influência.

Há trabalhos na área de redes complexas (KOROBOW; JOHNSON; AXTELL, 2007). O recente trabalho de Andrei, Comer e Koehler (2014) investiga diferentes topologias de rede com base nos modelos de Korobow, Johnson e Axtell (2007) e Hokamp e Pickhardt (2010). Eles descobriram que os resultados são diferentes quando comparados às topologias.

O modelo proposto nesta dissertação considera os efeitos da *influência social* (θ_i) na formação de uma opinião individual ($O_{i,t}$), que se relaciona com a percepção individual e de seus vizinhos sobre a fração de contribuintes que serão fiscalizados pelo governo. Cada indivíduo da sociedade insere-se em uma rede social que reúne um determinado número de vizinhos (p). Assim, busca-se verificar uma possível alteração em d_t , fração de contribuintes que declaram o imposto.

Outros modelos de evasão fiscal surgem, como os da econofísica, utilizando o modelo de Ising do ferromagnetismo (ZAKLAN; WESTERHOFF; STAUFFER, 2009).

3 METODOLOGIA

O objetivo desta dissertação é propor um modelo de evasão fiscal, através da Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA), com as seguintes características:

- ❑ a “*probabilidade de fiscalização*” é caracterizada como a percepção do contribuinte sobre o risco dele próprio ser fiscalizado;
- ❑ essa percepção do contribuinte pode evoluir no tempo;
- ❑ a interação social pode influenciar nessa percepção do contribuinte;
- ❑ as atividades de fiscalização do governo podem variar no tempo conforme a evolução da quantidade de declarações do imposto entregues pelos contribuintes.

O modelo proposto é construído a partir do comportamento de cada agente em direção ao comportamento de sistema, fazendo uma análise conhecida como *bottom-up*. Cada agente considera o seu ambiente de interação para, em seguida, tomar uma decisão conforme o conjunto de regras definidas para o seu perfil de comportamento. No todo coletivo, o fenômeno social não corresponde necessariamente à soma do comportamento das partes individuais (BOCCARA, 2004; LIMA et al., 2009).

Implementamos o modelo na linguagem de Programação Orientada a Objetos (ou *Object-Oriented Programming*) (OOP) JAVA, usando o ambiente de desenvolvimento *Eclipse Juno Service Release 1*, devido às vantagens, como a flexibilidade de plataforma (Linux, Windows etc.), a licença gratuita, a flexibilidade quanto à customização do ambiente, por meio de uma variedade de bibliotecas disponíveis etc.

A principal característica de programação orientada a objetos é o princípio de encapsulamento, a idéia de que os objetos podem ter controle sobre seu próprio estado interno. Em linguagens de programação como o JAVA, podemos declarar variáveis e métodos como privados, o que significa que só são acessíveis a partir de dentro do objeto. Também podemos declará-los públicos, o que significa que eles podem ser acessados de qualquer parte do programa construído e, portanto, devemos fazer isso para os métodos que deverão ser chamados por outros objetos. Desta forma, um objeto pode ser analisado como uma entidade que tem autonomia sobre seu estado, mas não apresenta controle sobre seu comportamento. Um método *m* declarado como público é invocável em outras partes do programa, possibilitando o controle externo do objeto que tem *m* como método.

A autonomia é uma das principais características dos agentes. Se um agente i pede para outro agente j executar uma ação, então j pode ou não realizar a ação. Weiss (1999) esclarece que, deve-se incluir o controle de autonomia para o uso de programação orientada a objetos. Por exemplo, é possível construir algum tipo de tomada de decisão sobre a possibilidade de executar um método dentro do método em si e, desta forma, alcançar um tipo mais forte de autonomia para os objetos.

“O locus de controle no que diz respeito à decisão sobre a possibilidade de executar uma ação é, portanto, diferente de sistemas de objetos e agente. No caso do modelo orientado a objetos, a decisão encontra-se com o objeto que invoca o método. No caso do agente, a decisão recai sobre o próprio agente que recebe o pedido” (WEISS, 1999, p. 35, tradução livre).

Outra característica que Weiss (1999) destaca para ser considerada na implementação orientada a objetos é a existência de *thread* individual de controle. Um sistema multi-agentes é inerentemente *multithread* (ou multi-tarefas), em que cada agente tem pelo menos uma *thread* de controle. A linguagem JAVA, por exemplo, fornece construções internas de programação multi-tarefas.

Macal e North (2006) apresentam um roteiro para a construção de uma MBA:

1. **agentes:** identificar os tipos de agentes e seus atributos;
2. **ambiente:** definir o ambiente no qual os agentes habitam e interagem;
3. **métodos de agentes:** especificar os métodos pelos quais os atributos dos agentes são atualizados em resposta às interações entre agentes e entre agentes e ambiente;
4. **interações de agentes:** adicionar os métodos que controlam como os agentes interagem, quando interagem e com quem interagem;
5. **implementação:** implementar o modelo de agentes em um sistema computacional.

Ademais, ao modelar, deve-se buscar o equilíbrio entre introduzir os elementos essenciais do fenômeno investigado e representá-lo da forma mais simples (TESFATSION, 2003).

“Apesar de inúmeras vantagens para lidar com problemas complexos, a MBA apresenta alguns desafios para o modelador. O primeiro é inerente a toda atividade de modelagem: encontrar o nível adequado de abstração e detalhes que constituem o modelo de modo que este cumpra com seu objetivo. Outra questão de extrema relevância, principalmente para as ciências sociais, é a modelagem de comportamentos complexos, muitas vezes potencialmente irracionais, de escolhas subjetivas e psicologia complexa envolvendo agentes humanos, que são difíceis de quantificar, calibrar e justificar” (LIMA et al., 2009, pp. 5284-5285).

3.1 Modelo proposto

Nesta dissertação, é proposto um modelo abstrato e simplificado que reproduza características reais do comportamento do contribuinte com o objetivo de analisar o fenômeno social de evasão fiscal em uma sociedade virtual.

O ponto de partida é considerar, no modelo, que a opinião de cada contribuinte sobre o risco dele próprio ser fiscalizado pode influenciar ou não no comportamento de sonegação; além disso, essa opinião está relacionada com sua percepção desse risco e com a de sua rede social, se esta existir.

A informação trocada nessa rede social se limita à percepção individual de cada agente sobre as ações do governo em fiscalização; logo, é disseminado um parâmetro coletivo de reputação sobre o governo. Para tornar o modelo mais real, é possível que exista contribuintes isolados da rede, representando aqueles que não compartilham suas experiências sobre o fisco. Acreditamos que essa informação propagada na rede é um fator crítico para a prática de evasão fiscal, pois, o parâmetro coletivo de reputação do governo é avaliado no conjunto de percepção individual de vários agentes sobre as ações do governo.

O modelo considera um único tributo: o Imposto de Renda (IR), cuja declaração é anual. Por simplificação, o montante devido do IR é igual para todos os contribuintes. Logo, não serão consideradas variáveis monetárias, tais como no modelo de Allingham e Sandmo (1972): renda real, renda declarada, alíquota do imposto e multa.

Por esse pressuposto, o crime de evasão fiscal é caracterizado no modelo como ato voluntário e consciente do contribuinte declarar ou não o imposto. Em outras palavras, não se pretende modelar o comportamento do contribuinte que calcula **quanto** vale a pena sonegar; mas aquele que questiona se vale a pena sonegar, isto é, se o crime compensa ou se, diante do ambiente (sociedade e governo), “a ocasião faz o ladrão”.

Assim, propõe-se um modelo de evasão fiscal, em que busca investigar especificamente:

- ❑ a percepção de cada contribuinte sobre o risco dele próprio ser fiscalizado, com ou sem influências sociais, o que representa uma relação direta entre o contribuinte e o governo;
- ❑ a influência social que pode alterar essa percepção, resultando em uma opinião sobre o percentual de fiscalizados pelo governo;
- ❑ a análise da evolução dessa opinião no contexto agregado, comparada à atuação do governo na fiscalização e ao percentual de sonegadores. Do ponto-de-vista do governo, essa opinião possibilitará uma análise se a fiscalização é eficaz como mecanismo de prevenção contra a sonegação em uma sociedade, pois a opinião influencia na decisão de cada agente em sonegar ou não. Do lado do contribuinte, essa opinião

possibilitará uma análise dos efeitos das interações sociais como meio de troca de informação e de adaptação ao risco imposto pela fiscalização;

- a análise do percentual de contribuintes que declaram o imposto (entrada de recursos públicos) versus o de fiscalizados pelo governo (saída de recursos públicos).

O modelo proposto é uma modelagem baseada em agentes que varia no tempo, em que cada iteração t representa um ano fiscal. A cada iteração t , é feita uma análise no todo coletivo sobre a fração de contribuintes que aproximadamente serão fiscalizados pelo governo (ρ_t), daqueles que declaram o imposto (d_t), dos que serão fiscalizados na opinião da sociedade (F_t) e dos contribuintes repreendidos (σ_t), levando em conta as diferentes configurações de sociedade.

3.1.1 Agentes

Os contribuintes são modelados com comportamentos distintos que considerem tanto a preferência individual quanto às informações resultantes da interação social. Cada um possui características próprias, intrínsecas ao indivíduo, tais como, o risco máximo (que ele assume) e a influência social (que ele considera).

Cada agente é racional, ou seja, seu objetivo é maximizar a utilidade marginal individual de evasão fiscal, limitada à aversão individual ao risco.

O risco aceitável (r_i) é o parâmetro que representa o comportamento racional do contribuinte de sonegar ou não, $S_{i,t}$. Na inicialização da simulação, r_i é valor aleatório (distribuição uniforme) entre 0 e 1 para cada contribuinte i . Logo, permite valores distintos entre os agentes. Quanto mais próximo de 0, mais avesso ao risco o contribuinte é.

θ_i representa a influência social, que varia entre 0 e 1. É um valor aleatório (distribuição uniforme) atribuído para cada contribuinte na inicialização da simulação. Também permite valores distintos entre os agentes. Quanto mais próximo de 1, mais o agente é suscetível socialmente, isto é, adere mais a percepção de seus vizinhos.

O comportamento dinâmico do contribuinte i é representado pelas variáveis: a fiscalização do governo¹, ($M_{i,t}$), a percepção do risco de ser fiscalizado², ($P_{i,t}$), a proporção de contribuintes fiscalizados na opinião do agente³, ($O_{i,t}$), e a decisão de sonegar⁴, ($S_{i,t}$). As relações entre elas são apresentadas mais adiante, na [Subseção 3.1.3](#).

¹Ver também [Equação 6](#)

²Ver também [Equação 7](#)

³Ver também [Equação 8](#)

⁴Ver também [Equação 9](#)

Tabela 4 – Atributos do contribuinte i

<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
r_i	$\sim U(0, 1)$
θ_i	$\sim U(0, 1)$
$M_{i,t}$	$\{0, 1\}$
$P_{i,t}$	$[0, 1]$
$O_{i,t}$	$[0, 1]$
$S_{i,t}$	$\{0, 1\}$

3.1.2 Ambiente

3.1.2.1 Sociedade

É definido o número de contribuintes (N) e não será considerada a variação demográfica na população de contribuintes. Logo, é um parâmetro fixo e exógeno ao modelo.

n é o período máximo de interesse (em anos fiscais) para observar o fenômeno da evasão fiscal nessa sociedade virtual, ou seja, $t \leq n$.

Foi definido o decaimento da percepção de cada contribuinte, m , com o intuito de incluir a adaptabilidade dos agentes. Quando o contribuinte não é fiscalizado pelo governo, há esse decaimento, pois aumenta sua descrença de ser fiscalizado, o que aumenta as chances de impunidade pela sonegação. Esse parâmetro é fixo e igual para todos os contribuintes, pois, como pressuposto do modelo, é uma característica da sociedade. Permite valores reais entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 0, menor é esse decaimento ao longo do tempo.

O comportamento dinâmico do contribuinte i é representado pelas variáveis: F_t , como a proporção de agentes fiscalizados na opinião da sociedade⁵ e, portanto, representa a eficácia da fiscalização como mecanismo de prevenção para coibir a sonegação; e d_t , como o percentual de contribuintes que não sonegaram em um determinado ano fiscal⁶. As relações entre elas são apresentadas mais adiante, na [Subseção 3.1.3](#).

A variável d_t representa o percentual de contribuintes que não sonegaram em um determinado ano fiscal t .

A variável $P_{j,t}^i$ representa a fração de contribuintes que serão fiscalizados na percepção da vizinhança do contribuinte i e será dedicada especial atenção a ela na [Subseção 3.1.4](#).

3.1.2.2 Governo

O governo pode interagir com os agentes, alterando dinamicamente as ações de fiscalização de maneira automatizada, por meio da variável ρ_t . Em outras palavras, o fisco poderia rever sua meta de fiscalização ao aumentar ou diminuir, em q , essas ações repre-

⁵Ver também [Equação 10](#)

⁶Ver também [Equação 11](#)

Tabela 5 – Atributos da sociedade

<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
N	$\mathbb{N}$
n	$\mathbb{N}$
p	$[0, 1]$
m	$[0, 1]$
F_t	$[0, 1]$
d_t	$[0, 1]$
$P_{j,t}^i$	$[0, 1]$

sentadas por ρ_t , dependendo da quantidade de contribuintes que declaram seus impostos, (d_t), em uma janela de tempo considerada para essa reavaliação, τ .

Tal como o contribuinte não tem certeza da estratégia adotada pelo governo nas fiscalizações, há incerteza também na opinião da sociedade quanto ao percentual de fiscalizados pelo governo.

Tal como o contribuinte conhece a opinião de sua vizinhança sobre o percentual de fiscalizados, o governo também conhece o número exato de quantos contribuintes declararam seus impostos.

Assim, o governo também apresenta comportamento dinâmico, representado pelas variáveis: ρ_t , τ e q .

Em suma: ρ_t representa a meta de fiscalização, isto é, uma proporção aproximada de contribuintes fiscalizados pelo governo. A cada τ , o governo pode alterar ρ_t , um valor valor aproximado da fração de contribuintes que serão fiscalizados pelo governo (a cada iteração) conforme [Equação 4](#).

τ é um valor fixo, parametrizado na inicialização da simulação, exógeno ao modelo.

$$\bar{\rho} = [\rho_{t-\tau}, \dots, \rho_t] \quad (4)$$

, onde $\tau < t < n$.

Foi definido um acréscimo ou decréscimo da meta de fiscalização, q , com o intuito de incluir a adaptabilidade do governo. Quando diminui a fração de contribuintes que declaram seus impostos (d_t), o governo pode intensificar suas ações de fiscalização. Esse parâmetro é fixo como condição inicial da simulação. Permite valores reais entre 0 e 1.

Quanto mais próximo de 0, menor é esse acréscimo ou decréscimo.

$$\rho_{t+1} = \begin{cases} \rho_t + q, \text{ se } d_t = 0 \\ \rho_t - q, \text{ se } d_t = 1 \\ \rho_t + q, \text{ se } \dot{\rho} < 0 \text{ nos termos da Equação 4} \\ \rho_t - q, \text{ se } \dot{\rho} > 0 \text{ nos termos da Equação 4} \\ \rho_t, \text{ caso contrário.} \end{cases} \quad (5)$$

, onde $\dot{\rho}(a) = \frac{d\rho}{dt}(a)$ é a derivada da função ρ no ponto a .

Tabela 6 – Atributos do governo

<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
ρ_t	$[0, 1]$
τ	$\mathbb{N}$
q	$[0, 1]$
σ_t	$[0, 1]$

3.1.3 Métodos do agente

No início da iteração t da simulação (representada no modelo como ano fiscal), o governo sorteia aproximadamente ρN para fiscalização.

$$M_{i,t} = \begin{cases} 1, \text{ contribuinte fiscalizado.} \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{cases} \quad (6)$$

Cada contribuinte i atualiza a fração de contribuintes que serão fiscalizados na sua percepção ($P_{i,t}$).

$$P_{i,t} = \begin{cases} 1, \text{ para os contribuintes fiscalizados.} \\ 0, \text{ se } P_{i,t-1} - m < 0 \\ P_{i,t-1} - m, \text{ caso contrário.} \end{cases} \quad (7)$$

A fração de contribuintes que serão fiscalizados na opinião do contribuinte i ($O_{i,t}$) pode ser alterada a cada interação social.

$$O_{i,t} = \begin{cases} 1, \text{ para os contribuintes fiscalizados.} \\ P_{i,t}, \text{ para os não fiscalizados e sem vizinhos.} \\ \frac{\theta_i P_{i,t}}{v_i} \sum_{j=1}^{v_i} P_{j,t} = \langle \theta_i P_{i,t} P_{j,t} \rangle_j, \text{ caso contrário.} \end{cases} \quad (8)$$

, onde $\langle \dots \rangle_j$ é a média sobre o índice j .

No fim da iteração t da simulação, o contribuinte decide se sonega o imposto ou não de acordo com a seguinte equação:

$$S_{i,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } O_{i,t} - r_i \leq 0 \\ 1, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (9)$$

É feita uma atualização das variáveis F_t , d_t e σ_t .

A fração de contribuintes que serão fiscalizados na opinião da sociedade é calculada:

$$F_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N O_{i,t} = \langle O_i \rangle_i \quad (10)$$

Também é calculada a fração de contribuintes que não sonegam o imposto:

$$d_t = \frac{N - \sum S_{i,t}}{N} \quad (11)$$

Além disso, para verificar se a fiscalização do governo tem sorteado os sonegadores, é feito um levantamento de σ_t , isto é, qual é a fração de contribuintes os quais sonegaram em $t - 1$ (por meio de $S_{i,t-1}$) e foram fiscalizados em t (por meio de $M_{i,t}$) conforme [Tabela 7](#).

Tabela 7 – Cálculo de σ_t

		$S_{i,t-1}$	
		0 (FALSE)	1 (TRUE)
$M_{i,t}$	0 (FALSE)	-	-
	1 (TRUE)	-	contribuinte i é contabilizado em σ_t

3.1.4 Interações de agentes

Para cada sociedade, é criada uma rede complexa aleatória, em que os contribuintes se conectam de acordo com o parâmetro p e N . Uma vez conectados, essa rede não será alterada ao longo do tempo t . Foi adotada a estrutura de rede Erdős-Rény por ser uma rede aleatória, ser o modelo mais simples de uma rede complexa e ser menos restritiva que as redes tradicionais quadriculadas.

Os contribuintes podem interagir de forma autônoma com seus vizinhos para a troca de informações sobre a percepção de cada um em relação à fiscalização do governo ($P_{j,t}^i$). O mecanismo que controla a execução dos contribuintes foi implementado usando o paradigma de programação *task scheduling*, através dos métodos “agendar”, “run” e “desagendar”.

O método “agendar” é executado a cada nova iteração t e é responsável por criar um *pool* de *threads* que permitirá a execução de cada contribuinte.

Figura 5 – Diagrama de classes do modelo

O método “run” é autônomo, sem um controle central, que pode ser executado diversas vezes durante o período em que o agendamento está ativo (após a execução do método “agendar”). Em outras palavras, o contribuinte pode interagir diversas vezes com sua rede social, não apenas um número fixo e limitado de vezes como é o caso da atuação do governo: uma ou nenhuma vez por ano com cada contribuinte. Na prática, o método “run” é limitado pela tecnologia, ou seja, pela capacidade de processamento do computador em que o modelo está simulando.

O método “desagendar” é o *clock* que representa o início de um ano fiscal, em que o contribuinte tem que entregar sua declaração de renda. Nesse momento, ele deve decidir se sonega ou não. Dessa forma, evitou-se também possíveis problemas de sincronia nas atualizações dos métodos dos agentes.

3.1.5 Implementação

A dinâmica do modelo reside no comportamento de cada contribuinte formular uma opinião sobre a proporção de contribuintes fiscalizados, a partir da sua percepção individual, associada ou não às percepções dos demais agentes, e decidir sonegar ou não, maximizando a utilidade marginal individual de evasão fiscal, limitado à sua aversão ao risco.

O modelo proposto nesta dissertação foi construído na linguagem de Programação Orientada a Objetos (ou *Object-Oriented Programming*) (OOP) JAVA (DEITEL; DEITEL, 2003), usando o ambiente de desenvolvimento *Eclipse Juno Service Release 1*. No Apêndice A, encontra-se uma lista das bibliotecas JAVA utilizadas na implementação do modelo.

Do ambiente Eclipse, é criado e exportado o arquivo executável *Java Archive* (JAR), o qual é um arquivo compactado usado para armazenar classes compiladas e metadados do modelo implementado na plataforma *Java SE Development Kit* (JDK). Esse arquivo é executado no prompt de comando do Windows.

Ao final da execução de cada simulação, são exportados os dados brutos em arquivo na extensão *Microsoft Excel file format* (XLS). Também é plotado o gráfico “fração de contribuintes versus iteração” das curvas ρ , d , σ e F , na extensão *Portable Network Graphics* (PNG) (ver Tabela 8):

3.2 Resultados

A simulação foi executada no ambiente com as características descritas a seguir:

□ **Processador:** Intel(R) Core(TM)i7-3770 CPU @ 3.40GHz.

Tabela 8 – Legenda de cores das curvas plotadas nos gráficos das simulações

<i>Símbolo</i>	<i>Descrição</i>	<i>Cor da curva</i>
$\bar{\rho}$	$[\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-1}]$	verde
$\bar{d}$	$[d_0, d_1, \dots, d_{n-1}]$	azul
$\bar{\sigma}$	$[\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_{n-1}]$	amarelo
$\bar{F}$	$[F_0, F_1, \dots, F_{n-1}]$	vermelho

- ❑ **Memória RAM:** 12 GB.
- ❑ **Tipo de sistema:** Sistema Operacional de 64 bits.
- ❑ **Sistema Operacional:** Windows 7 Ultimate (versão 6.1.7601).
- ❑ **Java SE Runtime Environment:** Versão 7, Atualização 25 (build 1.7.0_25-b17).
- ❑ **Java HotSpot:** 64-Bit Server VM (build 23.25-b01, mixed mode).

Para cada configuração das condições iniciais do modelo, foram simuladas $k = 20$ execuções. Em outras palavras, os resultados apresentam a média e o desvio-padrão das curvas ρ , d , σ e F dessas simulações.

A população total de contribuintes foi definida como $N = 1.000$, limitado pela tecnologia, ou seja, pela capacidade de processamento do computador em que o modelo está simulando.

“Uma outra dificuldade, que não deve ser desconsiderada, está relacionada à limitação computacional. Apesar do crescente poder computacional, a modelagem e simulação baseada em agentes demanda uma capacidade de processamento extremamente elevada, principalmente para sistemas maiores e mais complexos. Isto se deve ao próprio conceito por trás da modelagem baseada em agentes, que define um modelo a partir de suas unidades constituintes” (LIMA et al., 2009, pp. 5284-5285).

Foram planejados dois casos de teste, um considerando $P_{i,t=0} = 100\%$ e outro $P_{i,t=0}$ é uma variável aleatória de distribuição uniforme entre 0 e 1.

3.2.1 Condição inicial 1: $P_{i,t=0} = 100\%$

Nesta seção, verifica-se a sensibilidade do modelo, através dos parâmetros p e m . Dessa forma, assume-se, como condição inicial do modelo, que todos os contribuintes têm a percepção de que o governo fiscaliza todos: $P_{i,t=0} = 100\%$. Os demais parâmetros das condições iniciais do modelo simulado estão na [Tabela 9](#).

O ponto de partida do modelo é considerar que a opinião de cada contribuinte sobre o risco dele próprio ser fiscalizado pode influenciar ou não no comportamento de sonegação;

Tabela 9 – Condição inicial 1 do modelo

<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
N	1.000
n	100
q	0.10
k	20
$\rho_{t=0}$	0.10
$P_{i,t=0}$	100%

Tabela 10 – Tabela resumida das simulações: Condição inicial 1 do modelo

τ	m	p	<i>Resultado</i>
0	0%	varia	Gráfico 1
0	varia	0%	Gráfico 2
0	varia	varia	Gráfico 3
1	1%	varia	Gráfico 4
1	100%	varia	Gráfico 5
1	varia	0%	Gráfico 6
varia	1%	varia	Gráfico 7
varia	1%	varia	Gráfico 8
varia	100%	varia	Gráfico 9
varia	100%	varia	Gráfico 10
varia	varia	0%	Gráfico 11

além disso, essa opinião está relacionada com sua percepção desse risco e com a de sua rede social, se esta existir. Assim, é preciso investigar p , a probabilidade da formação de arestas entre os nós de uma rede complexa aleatória.

Considere $\tau = 0$ e $m = 0\%$, os resultados estão apresentados no [Gráfico 1](#).

- Dado qualquer valor de $p \neq 0$, a curva F se aproxima de ρ . A opinião da sociedade (curva F) se aproximou da estratégia de fiscalização pelo governo (curva ρ), em $t \approx 2$. Ao variar de forma crescente o valor de p , não houve diferenças significativas entre essas curvas. Esse resultado sugere que, a simples existência de probabilidade de conexões entre contribuintes, mesmo que pequena, permite troca de informações entre contribuintes e possibilita adaptação deles diante das ações do governo.
- Dado qualquer valor de $p \neq 0$, a curva σ também se aproxima de ρ . Esse resultado sugere que, quase todos os contribuintes fiscalizados haviam sonegado o imposto. Ao variar de forma crescente o valor de p , não houve diferenças significativas entre essas curvas.
- Todas as curvas F , σ e d estabilizaram em $t \approx 3$, para $p \neq 0$. Para $p = 0$, todas

Gráfico 1 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 0$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 0\%$. Investigação de p . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ quando $p = 0$ ou $p \neq 0$. (2) Evolução da curva d quando $p = 0$ ou $p \neq 0$.

as curvas apresentaram comportamento constante ao longo da simulação. Esses resultados sugerem a necessidade de considerar acréscimo ou decréscimo nas ações do governo e na percepção do contribuinte para obter uma dinâmica no modelo, aproximando-se de um comportamento observado no mundo real.

- Quando $p \neq 0$, a curva d tem uma diferença de aproximadamente 5% de contribuintes em relação à curva F . Esse nível de arrecadação é mantido mesmo com a curva F abaixo dela e com comportamento praticamente inalterado.

Como observado no Gráfico 1a, todas as curvas apresentaram comportamento constante ao longo da simulação. Nesse sentido, é considerado, no modelo, um decréscimo na percepção do contribuinte.

m é o decaimento (a cada iteração t) da percepção do contribuinte i sobre a fiscalização, nos casos em que o contribuinte não tenha sido fiscalizado. Esse parâmetro foi considerado de modo a calibrar o modelo, aproximando-se à realidade observada do comportamento do contribuinte e permitindo adaptação desse agente, mesmo que ele seja isolado da rede

social complexa.

Considere $\tau = 0$ e $p = 0\%$, os resultados obtidos estão apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 0$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$. Investigação de m . Observações: (1) Evolução da curva σ para diferentes valores de m . (2) Comparação entre a curvas F e ρ para diferentes valores de m . (3) Aproximação/ afastamento das curvas F e d para diferentes valores de m .

□ Quanto maior o valor de m , mais rapidamente as curvas F , σ e d se estabilizaram.

□ Para qualquer valor de $m \geq 10\%$, ocorre um decaimento de F superior a 50%.

- Ao variar de forma crescente o valor de m , mais a curva F se aproximou da curva ρ , ou seja, a opinião da sociedade (curva F) se aproximou da estratégia de fiscalização pelo governo (curva ρ), em $m \geq 50\%$. Esse resultado sugere que, o comportamento da curva F apresenta sensibilidade à variação de m , o que já era esperado.
- O movimento da curva F provoca alteração na curva d , sendo que ambas possuem comportamentos similares.
- O percentual de contribuintes que declaram o imposto (curva d) sempre está acima ou igual à curva F (percentual a serem fiscalizados na opinião da sociedade). No entanto, as curvas podem apresentar um maior distanciamento dependendo do valor de m .
- Quanto maior o valor de m , mais próxima a curva σ está em relação à ρ . Assim, a fiscalização é mais eficiente, pois, maior é a fração de contribuintes repreendidos, ou seja, aqueles que sonegam o imposto e foram fiscalizados. Como não houve aumento da fiscalização (curva ρ constante), esse resultado sugere que, essa eficiência é obtida porque houve aumento do nº de sonegadores (queda da curva d).
- As curvas F , ρ e d estabilizaram em diferentes valores de t : para maiores valores de m , em menor t ocorreu essa convergência.

Os resultados obtidos no [Gráfico 1](#) e no [Gráfico 2](#) sugerem que, a simples existência de interação social entre contribuintes ($p \neq 0$) e o decaimento da percepção do contribuinte sobre a fiscalização ($m \neq 0$) apresentaram comportamento dinâmico do contribuinte pelas curvas F , d e σ .

Assim, considerando $\tau = 0$ e a existência de rede social ($p \neq 0$), os resultados obtidos dessa simulação estão apresentados no [Gráfico 3](#).

- Qualquer que seja o valor de $p \neq 0$ e $m \neq 0$, as curvas F , ρ , σ e d apresentam comportamentos parecidos.
- A curva F se aproxima à ρ , isto é, a opinião da sociedade se aproximou da estratégia de fiscalização pelo governo, o que sugere relevância dos efeitos dos parâmetros de adaptação dos contribuintes (p , pela interação social; m , pela interação com o governo).
- As curvas F , σ e d estabilizaram em $t \approx 3$. Esse resultado sugere a necessidade de considerar a dinâmica do governo, isto é, sendo possível alterar a evolução da curva ρ ao longo da simulação.

(a) $p = 1\%$, $m = 1\%$. (b) $p = 100\%$, $m = 1\%$. (c) $p = 1\%$, $m = 100\%$. (d) $p = 100\%$, $m = 100\%$.

Gráfico 3 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 0$, $\rho_{t=0} = 10\%$. Investigação de m com rede social ($p = 1\%$ à direita, $p = 100\%$ à esquerda). Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ quando $p \neq 0$ e $m \neq 0$. (2) Comparação entre as curvas σ e ρ .

Dos resultados obtidos no Gráfico 3, foram observados os efeitos dos parâmetros p e m no comportamento dinâmico do contribuinte. A simples existência de interação social entre contribuintes e o decaimento da percepção do contribuinte sobre a fiscalização possibilitaram a aproximação das curvas F e ρ , o que contribuiu para a queda do valor de d .

No entanto, foi observado que as curvas F , σ e d convergiram no início da simulação, em $t \approx 3$. Nesse sentido, foi necessário incluir no modelo a dinâmica do governo. Assim, a curva ρ poderia alterar seu comportamento ao longo da simulação. Esse parâmetro foi considerado de modo a calibrar o modelo, aproximando-se à realidade observada do comportamento do governo e permitindo sua adaptação diante das ações dos contribuintes.

Conforme Equação 5, a estratégia do governo poderá ser alterada a cada período τ , permitindo ao governo fazer ajustes de ρ , reavaliando suas ações na fiscalização.

O Gráfico 4 apresenta os resultados da simulação, considerando $\tau = 1$ e $m = 1\%$:

□ Quando $p = 0$, foi apresentada uma instabilidade na evolução da curva ρ , decorrente

Gráfico 4 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 1$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$. Investigação de p . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (2) Evolução da curva d para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

do parâmetro $\tau = 1$. Essa instabilidade não existia no 2a. A curva ρ não estabiliza, além de apresentar incerteza alta (desvio-padrão).

- Além disso, a curva F não segue o movimento da curva ρ , para $p = 0$. Todos os contribuintes estão isolados e o decaimento da percepção de cada contribuinte é de 1%. Isso manteve o comportamento da curva F praticamente constante ao longo da simulação.
- Quando $p = 0$, as curvas F e d estiveram próximas e apresentaram comportamentos semelhantes. Com a curva F constante, a curva d também acompanhou. Dessa forma, o governo tentou aumentar o nível de arrecadação (curva ρ). Esse resultado sugere a possibilidade de fixar um nível ótimo de arrecadação. Não foi considerado nesta dissertação e é sugerido na para futuros trabalhos.
- Quando $p \neq 0$, a interação social pode ocorrer. A curva F se aproxima da curva ρ ; logo, altera a curva d .

- Quando $p \neq 0$, é formado um padrão de comportamento apresentado pelas curvas F , d e ρ com uma característica oscilatória. Esse resultado sugere que a inclusão de $\tau = 1$ no comportamento do governo criou uma certa instabilidade também no comportamento do contribuinte.
- Quando $p \neq 0$, a curva F acompanha as oscilações de ρ , mas com alternância de fase. Esse resultado obtido parece nos indicar o efeito do atraso gerado (defasagem de 1 passo de iteração) na troca de informação sobre as ações de fiscalização, por meio de interações sociais.
- Quando $p \neq 0$, a curva ρ acompanha as oscilações de d . Esse resultado parece revelar que, mesmo sem fiscalização em algumas iterações, o governo consegue ter um determinado nível de arrecadação. Esse nível é exatamente o mesmo obtido da curva F (opinião da sociedade).
- Quando há fiscalização em algumas iterações, para $p \neq 0$, a fração de contribuintes que declaram o imposto é a mesma que são fiscalizadas. Esse efeito é manifestado pela curva σ que apresenta o mesmo resultado da curva ρ .
- No caso de $p = 50\%$, as curvas F e d apresentaram alguma incerteza (desvio-padrão) a partir de $t \approx 40$.

Mantendo $\tau = 1$ e simulando um decaimento de $m = 100\%$, os resultados obtidos nessa simulação estão apresentados no [Gráfico 5](#).

- Quando $p = 0$, foi observada uma queda brusca das curvas F e d , quando $t < 5$, tal como esperado do resultado do [Gráfico 2f](#), em que $m = 100\%$.
- Para $p = 0$, a curva F se afastou da curva d e se aproximou da curva ρ . Comparando com os resultados obtidos do [Gráfico 4a](#), existe um movimento diferente das curvas F (opinião da sociedade) e ρ (ação do governo). No [Gráfico 4a](#), a curva ρ se aproximou da curva F . No [Gráfico 5a](#), ocorreu o inverso. Esse resultado parece indicar alta sensibilidade do parâmetro m nos resultados da simulação.
- Quando $p = 0$, foi apresentada uma instabilidade na evolução das curvas F , d e ρ , decorrente do parâmetro $\tau = 1$. Essa instabilidade não existia no [2f](#).
- Quando $p \neq 0$, o [Gráfico 4](#) e o [Gráfico 5](#) apresentam resultados próximos. Isso era esperado da análise sobre o [Gráfico 3](#), pois, qualquer que fosse o valor de $p \neq 0$ e $m \neq 0$, a evolução das curvas F , ρ , σ e d não apresentou diferenças significativas entre elas.
- No caso de $p = 50\%$ e $p = 100\%$, as curvas F e d apresentaram incerteza (desvio-padrão) a partir de $t \approx 13$ e $t \approx 36$, respectivamente.

Gráfico 5 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 1$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$. Investigação de p . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (2) Evolução da curva d para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

Do movimento inverso que obtivemos do Gráfico 4a e do Gráfico 5a, em relação à direção das curvas F e ρ , investigamos o parâmetro m diante desse cenário: $\tau = 1$ e $p = 0\%$. Os resultados estão apresentados no Gráfico 6.

- Quando $m = 0$, as curvas F e d mantiveram-se constantes em 100% e a curva σ em 0%. Isso porque, nessa simulação, todos os contribuintes estão isolados, pois não há interação social. Também não há decaimento da percepção.
- Dado $m \neq 0$, as curvas F , ρ e d apresentaram incerteza elevada (desvio-padrão). Entretanto, a evolução das curvas mostrou resultados próximos comparados com os do Gráfico 2.
- Para qualquer valor de $m \geq 50\%$, ocorre um decaimento de F superior a 50%.
- É observado movimento de aproximação das curvas F e ρ ao variar m de forma crescente.

(a) $m = 0\%$. (b) $m = 5\%$. (c) $m = 10\%$. (d) $m = 50\%$. (e) $m = 80\%$. (f) $m = 99\%$.

Gráfico 6 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 1$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$. Investigação de m . Observações: (1) Evolução da curva σ para diferentes valores de m . (2) Comparação entre a curvas F e ρ para diferentes valores de m .

Em decorrência do comportamento oscilatório apresentado quando $\tau = 1$, investigamos os efeitos de τ (comparação vertical) para diferentes valores de p (comparação horizontal) para $m = 1\%$.

O Gráfico 7 e o Gráfico 8 mostram os resultados obtidos na simulação.

Gráfico 7 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$. Investigação de p e τ . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (2) Evolução da curva d para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

(a) $p = 50\%$, $\tau = 1$. (b) $p = 100\%$, $\tau = 1$. (c) $p = 50\%$, $\tau = 2$. (d) $p = 100\%$, $\tau = 2$. (e) $p = 50\%$, $\tau = 3$. (f) $p = 100\%$, $\tau = 3$.

Gráfico 8 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$. Investigação de p e τ . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para diferentes valores de τ . (2) Comparação entre as curvas d e F . (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

- ❑ Quando $p = 0$, foi apresentada uma instabilidade na evolução da curva ρ , decorrente do parâmetro $\tau \neq 0$. A curva ρ não estabiliza, além de apresentar incerteza alta (desvio-padrão) conforme já visto no Gráfico 4a.
- ❑ Quando $p \neq 0$, a curva F se aproximou de ρ , resultado já observado do Gráfico 1.
- ❑ Para $p \neq 0$, a curva F apresentou sensibilidade ao variar τ , o que não foi observado para $p = 0$. Esse resultado é esperado, conforme Gráfico 4.
- ❑ Para $p \neq 0$ e $\tau = 1$, os resultados já foram analisados no Gráfico 4.
- ❑ Para $p \neq 0$ e $\tau = 2$, as curvas apresentaram comportamento oscilatório. Estão presentes incertezas, caracterizadas pelo desvio-padrão.
- ❑ Para $p \neq 0$ e $\tau = 2$, a curva F acompanha as oscilações da curva d , não apresentando a alternância de fase, tal como notado nos gráficos de $\tau = 1$. No entanto, elas apresentaram características parecidas, com alguma defasagem.
- ❑ Para $p \neq 0$, observou-se incerteza maior, quanto maior o valor de τ .
- ❑ Para $p \neq 0$ e $\tau = 3$, as curvas F , ρ , d e σ não apresentaram um padrão de comportamento como notado nas curvas para $\tau = 1$ e $\tau = 2$.
- ❑ Para $p \neq 0$ e $\tau = 3$, todas as curvas, exceto σ , revelaram uma tendência de crescimento e alta incerteza.

Nesse sentido, cumpre-nos investigar a variação de $\tau = \{1, 2, 3\}$ (comparação vertical) e diferentes valores de p (comparação horizontal) para $m = 100\%$. Com um decaimento de percepção em 100%, o contribuinte quando não é fiscalizado pelo governo, acredita que ficará impune pela sonegação. Por outro lado, quando fiscalizado, sua percepção é que o governo poderá fiscalizá-lo.

Os resultados são apresentados no Gráfico 9 e no Gráfico 10.

- ❑ Quando $p = 0$, foi apresentada uma incerteza (desvio-padrão) em todas as curvas, devido à variação do parâmetro τ . Esse resultado era esperado conforme o Gráfico 5a.
- ❑ Para $p \neq 0$, como esperado dos resultados apresentados no Gráfico 5a e no Gráfico 6, quanto maior o valor de m , mais o valor da amplitude da curva F se aproxima ao da curva ρ . Para $m = 100\%$, é observada essa aproximação para qualquer valor de τ .
- ❑ Com base no que foi constatado dos resultados do Gráfico 3, em que as curvas F , ρ , σ e d apresentaram comportamentos parecidos, qualquer que seja o valor de $p \neq 0$

(a) $p = 50\%$, $\tau = 1$. (b) $p = 100\%$, $\tau = 1$. (c) $p = 50\%$, $\tau = 2$. (d) $p = 100\%$, $\tau = 2$. (e) $p = 50\%$, $\tau = 3$. (f) $p = 100\%$, $\tau = 3$.

Gráfico 10 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$. Investigação de p e τ . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para diferentes valores de τ . (2) Comparação entre as curvas d e F . (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

e $m \neq 0$, os resultados foram próximos daqueles apresentados para $p \neq 0$ e $\tau = 1$. Ver Gráfico 7b, Gráfico 8a, Gráfico 8b, Gráfico 9b, Gráfico 10a e Gráfico 10b.

- O resultado notável é aquele apresentado no Gráfico 9c, em que $p = 0$ e $m = 100\%$, sugerindo que, quando $\tau = 2$, as curvas F , ρ , d e σ apresentaram um comportamento oscilatório, com incerteza, tal como os resultados apresentados para diferentes valores de p . Para outros valores de τ , por exemplo, esse efeito não foi observado (ver Gráfico 9c e Gráfico 9e).

Do resultado apresentado no Gráfico 7c e no Gráfico 9c, surgiu o interesse de investigar qual o limiar de m , em que as curvas podem ou não apresentar um padrão de comportamento, para $\tau = 2$ e $p = 0\%$.

São feitas as seguintes análises:

1. Comparação entre as curvas F e ρ para diferentes valores de m .
2. Aproximação/ afastamento das curvas F e d para diferentes valores de m .
3. Comparação entre o movimento das curvas σ e ρ .
4. Evolução da curva σ para diferentes valores de m .

Os resultados estão apresentados no Gráfico 11.

- Tal como foi analisado do Gráfico 6, observa-se um movimento de aproximação da amplitude das curvas F e ρ ao variar m de forma crescente.
- As curvas F , ρ , d e σ apresentaram um comportamento oscilatório, em fase ou defasado, para valores de m a partir de 33%, como sugeria os resultados do Gráfico 9c.
- Para $m = 50\%$, as curvas apresentaram pouca incerteza (desvio-padrão), além de um comportamento sincronizado entre elas, as quais representam as ações, no nível agregado, entre sociedade e governo.
- Nas condições iniciais da Tabela 9, o resultado notável é que o modelo revelou maior sensibilidade ao variar os parâmetros m e τ , apresentando comportamentos imprevisíveis, como os apresentados no Gráfico 11. Esse resultado parece indicar que, mesmo em uma sociedade com contribuintes isolados, seria possível a opinião da sociedade conhecer a estratégia do governo quanto à fiscalização, um dos pressupostos do modelo de Allingham e Sandmo (1972).

(a) $m = 1\%$. (b) $m = 5\%$. (c) $m = 20\%$. (d) $m = 32\%$. (e) $m = 33\%$. (f) $m = 50\%$. (g) $m = 80\%$. (h) $m = 100\%$.

Gráfico 11 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} = 100\%$, $\tau = 2$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$. Investigação de m .

3.2.2 Condição inicial 2: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$

Nesta seção, verifica-se a dinâmica do modelo quando alterada a condição inicial para uma situação mais próxima do real, em que nem todos os contribuintes têm a percepção, no início da simulação, de que o governo fiscalizará todos. Assim, a percepção inicial de cada contribuinte segue uma distribuição uniforme entre 0% a 100%: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$. Os demais parâmetros das condições iniciais do modelo simulado estão na [Tabela 11](#).

Tabela 11 – Condição inicial 2 do modelo

<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
N	1.000
n	100
q	0.10
k	20
$\rho_{t=0}$	0.10
$P_{i,t=0}$	$\sim U(0, 1)$

Tabela 12 – Tabela resumida das simulações: Condição inicial 2 do modelo

τ	m	p	<i>Resultado</i>
varia	1%	varia	Gráfico 12
varia	1%	varia	Gráfico 13
varia	100%	varia	Gráfico 14
varia	100%	varia	Gráfico 15
1	varia	0%	Gráfico 16
2	varia	0%	Gráfico 17
3	varia	0%	Gráfico 18

A inclusão do parâmetro τ permite que o governo faça ajustes de ρ , reavaliando suas ações na fiscalização a cada intervalo de tempo (τ).

Em decorrência dos resultados obtidos quando $m = 1\%$ no [Gráfico 7](#) e no [Gráfico 8](#), para $P_{i,t=0} = 100\%$, investigamos os efeitos de τ (comparação vertical) para diferentes valores de p (comparação horizontal) e $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$. Os resultados são vistos no [Gráfico 12](#) e no [Gráfico 13](#).

- Para $p = 0$, as curvas F e d apresentaram sensibilidade ao variar τ . Ver [Gráfico 7a](#), [Gráfico 7c](#), [Gráfico 7e](#), [Gráfico 7a](#), [Gráfico 12a](#), [Gráfico 12c](#) e [Gráfico 12e](#).
- Para $p = 0$ e qualquer valor de τ , as curvas ρ e σ apresentaram um padrão de comportamento ao longo da simulação. Os resultados sugerem que há uma tendência de crescimento para a curva d . Esse resultado é bastante interessante para a Administração Pública, pois seria possível manter um aumento na arrecadação,

(a) $p = 0\%$, $\tau = 1$. (b) $p = 1\%$, $\tau = 1$. (c) $p = 0\%$, $\tau = 2$. (d) $p = 1\%$, $\tau = 2$. (e) $p = 0\%$, $\tau = 3$. (f) $p = 1\%$, $\tau = 3$.

Gráfico 12 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0,1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$. Investigação de p e τ . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (2) Evolução da curva d para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

(a) $p = 50\%$, $\tau = 1$. (b) $p = 100\%$, $\tau = 1$. (c) $p = 50\%$, $\tau = 2$. (d) $p = 100\%$, $\tau = 2$. (e) $p = 50\%$, $\tau = 3$. (f) $p = 100\%$, $\tau = 3$.

Gráfico 13 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0,1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 1\%$. Investigação de p e τ . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para diferentes valores de τ . (2) Comparação entre as curvas d e F . (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

por meio de ações de fiscalização, com características oscilatórias, como a curva ρ apresentada no Gráfico 12a, no Gráfico 12c e no Gráfico 12e.

- Dado um valor de $p \neq 0$ e qualquer valor de τ , a curva F se aproximou da curva ρ , resultado já observado do Gráfico 7 e do Gráfico 8.
- Dado um valor de $p \neq 0$ e $\tau = 1$, a curva F apresentou comportamento oscilatório, com alternância de fase em relação a ρ .
- Dado um valor de $p \neq 0$ e $\tau = 2$, a curva F acompanhou as oscilações da curva ρ , com alguma defasagem.
- Dado um valor de $p \neq 0$ e $\tau = 3$, a curva F se aproximou da curva ρ . A curva d apresentou movimento semelhante à curva F . No entanto, as curvas F , ρ , d e σ não apresentaram um padrão de comportamento como notado quando $\tau = 1$ ou $\tau = 2$. Exceto a curva σ , todas as outras sugerem uma tendência de crescimento. É observado também alta incerteza (desvio-padrão) das curvas.

Em decorrência dos resultados obtidos quando $m = 100\%$ no Gráfico 9 e Gráfico 10, para $P_{i,t=0} = 100\%$, investigamos os efeitos de τ (comparação vertical) para diferentes valores de p (comparação horizontal) e $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$. Os resultados são observados no Gráfico 14 e no Gráfico 15.

- Para $p = 0\%$, os resultados do Gráfico 14 são parecidos com os do Gráfico 9, sugerindo que a condição inicial de $P_{i,t=0}$ não influenciou na dinâmica do modelo.
- Para $p = 0\%$ e $\tau = 2$, os resultados do Gráfico 14c sugerem que, as curvas F , ρ , d e σ não apresentaram um padrão de comportamento, tal como o Gráfico 9c.
- Para qualquer valor de p e τ , a amplitude da curva F é muito próxima da curva ρ . Esse resultado sugere que a interação social não alterou a dinâmica do modelo, pois apresentou sensibilidade aos parâmetros m e τ . Logo, para $m = 100\%$ e $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, observou-se que, em toda a simulação, a probabilidade “percebida” de fiscalização foi próxima à probabilidade “real” (estratégia do governo), um dos pressupostos do modelo de Allingham e Sandmo (1972).
- Dado um valor de $p \neq 0$ e $\tau = 1$, o movimento das curvas F e ρ apresentou comportamento oscilatório, com alternância de fase, resultado também observado no Gráfico 9 e no Gráfico 10.
- Dado um valor de $p \neq 0$ e $\tau = 2$, a curva F acompanhou as oscilações da curva d , com alguma defasagem, o que também foi verificado no Gráfico 9 e no Gráfico 10.

(a) $p = 0\%$, $\tau = 1$. (b) $p = 1\%$, $\tau = 1$. (c) $p = 0\%$, $\tau = 2$. (d) $p = 1\%$, $\tau = 2$. (e) $p = 0\%$, $\tau = 3$. (f) $p = 1\%$, $\tau = 3$.

Gráfico 14 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0,1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$. Investigação de p e τ . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (2) Evolução da curva d para $p = 0$ ou $p \neq 0$. (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

(a) $p = 50\%$, $\tau = 1$. (b) $p = 100\%$, $\tau = 1$. (c) $p = 50\%$, $\tau = 2$. (d) $p = 100\%$, $\tau = 2$. (e) $p = 50\%$, $\tau = 3$. (f) $p = 100\%$, $\tau = 3$.

Gráfico 15 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0,1)$, $\rho_{t=0} = 10\%$, $m = 100\%$. Investigação de p e τ . Observações: (1) Comparação entre as curvas F e ρ para diferentes valores de τ . (2) Comparação entre as curvas d e F . (3) Comparação entre as curvas σ e ρ .

- Dado um valor de $p \neq 0$ e $\tau = 3$, é feita a mesma observação do Gráfico 9 e do Gráfico 10.

Dos resultado apresentados no Gráfico 12 e no Gráfico 14, especificamente quando $p = 0\%$, investigamos qual o limiar de m , em que as curvas podem ou não apresentar um padrão de comportamento, para $\tau = \{1, 2, 3\}$.

São feitas as seguintes análises:

1. Comparação entre a curvas F e ρ para diferentes valores de m .
2. Aproximação/ afastamento das curvas F e d para diferentes valores de m .
3. Comparação entre o movimento das curvas σ e ρ .
4. Evolução da curva σ para diferentes valores de m .

Os resultados estão apresentados no Gráfico 16 (para $\tau = 1$), no Gráfico 17 (para $\tau = 2$) e no Gráfico 18 (para $\tau = 3$).

- Para $m < 3\%$, as curvas apresentaram pouca incerteza (desvio-padrão), em que é observado que a curva F não se aproxima de ρ .
- Para qualquer valor de τ e $m = 10\%$, os resultados sugerem que há uma tendência de crescimento para as curvas F e d , ou seja, seria possível aumentar a arrecadação, mesmo com baixo nível de fiscalização (curva ρ), por meio de ações do governo, suscetíveis de alterações de estratégia em 1, 2 ou 3 iterações.
- Para $m = 50\%$ e $\tau = 2$, as curvas apresentaram comportamento oscilatório, com pouca incerteza (desvio-padrão), além de um resultado parecido com o observado no Gráfico 11f, sugerindo que a condição inicial de $P_{i,t=0}$ não influenciou na dinâmica do modelo.
- Não foi possível identificar a existência de um limiar de m no Gráfico 16 (para $\tau = 1$) e no Gráfico 18 (para $\tau = 3$), mas observou-se que as curvas F e d apresentaram pouca incerteza (desvio-padrão), além de um comportamento sincronizado entre elas, quando $m = 3\%$.
- No Gráfico 17 (para $\tau = 2$), as curvas F , ρ , d e σ apresentaram um comportamento oscilatório, em fase ou defasado, para valores de m a partir de 30% , como sugeria os resultados do Gráfico 14c.
- A partir de $m > 80\%$, a curva F se aproximou da curva ρ , com incerteza significativa. Mesmo em uma sociedade com contribuintes isolados, seria possível a

(a) $m = 1\%$. (b) $m = 3\%$. (c) $m = 5\%$. (d) $m = 10\%$. (e) $m = 30\%$. (f) $m = 50\%$. (g) $m = 80\%$. (h) $m = 100\%$.

Gráfico 16 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\tau = 1$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$. Investigação de m .

(a) $m = 1\%$. (b) $m = 3\%$. (c) $m = 5\%$. (d) $m = 10\%$. (e) $m = 30\%$. (f) $m = 50\%$. (g) $m = 80\%$. (h) $m = 100\%$.

Gráfico 17 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0, 1)$, $\tau = 2$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$. Investigação de m .

Gráfico 18 – Resultados da simulação para uma sociedade em que: $P_{i,t=0} \sim U(0,1)$, $\tau = 3$, $p = 0\%$, $\rho_{t=0} = 10\%$. Investigação de m .

opinião da sociedade conhecer a estratégia do governo quanto à fiscalização, um dos pressupostos do modelo de Allingham e Sandmo (1972).

- Os resultados obtidos mostraram maior sensibilidade do modelo ao variar os parâmetros m e τ , o que já havia sido revelado no Gráfico 11. No entanto, observou-se que a condição inicial de $P_{i,t=0}$ teria ou não influenciado na dinâmica do modelo, um resultado imprevisível, como visto no Gráfico 17f.

4 CONCLUSÃO

O modelo desenvolvido, proposto, implementado e analisado é o resultado de, aproximadamente, dois anos de pesquisas durante o curso de mestrado.

O ponto de partida para a elaboração deste projeto de pesquisa surgiu a partir dos questionamentos sobre a relação entre justiça fiscal e sonegação, no sentido de que sonegar é um ato do próprio cidadão, que causa prejuízo à sociedade e, portanto, a si mesmo.

Pretendemos com esta dissertação apresentar uma alternativa na análise sobre a relação cidadão-Estado na arrecadação tributária e no custo relacionado ao combate à sonegação (através da fiscalização de tributos), tendo como objeto de estudo a obediência tributária (*tax compliance*) no âmbito da escolha do contribuinte (*taxpayer behaviour*).

Foi proposto um modelo de evasão fiscal, através da Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA), com as seguintes características:

- ❑ a “*probabilidade de fiscalização*” é caracterizada como a percepção do contribuinte sobre o risco dele próprio ser fiscalizado;
- ❑ essa percepção do contribuinte pode evoluir no tempo;
- ❑ a interação social pode influenciar nessa percepção do contribuinte;
- ❑ as atividades de fiscalização do governo podem variar no tempo conforme a evolução da quantidade de declarações do imposto entregues pelos contribuintes.

Essa “*probabilidade de fiscalização*” não é a mesma que a “*probabilidade do contribuinte ser fiscalizado*”. Esta depende do número de contribuintes que o governo seleciona para fiscalizar, sendo uma informação indisponível ao contribuinte; logo, o fator que possivelmente influenciaria na decisão do contribuinte em sonegar seria a percepção dele próprio ser fiscalizado.

A análise proposta nesta dissertação pretende contribuir para direcionar ações da Administração Pública na busca por melhoria de desempenho da arrecadação tributária, por exemplo, via facilitação do acesso à informação nos portais de transparência, melhoria dos canais de denúncia e de informação, ampliação de campanhas publicitárias, entre outras medidas de baixo custo que apresentam significativo potencial de aperfeiçoamento das ações fiscais do Estado.

O modelo proposto é uma Modelagem Baseada em Agentes (ou *Agent-Based Modeling*) (MBA) que varia no tempo, sendo t representada por um ano fiscal. A cada iteração t , é feita uma análise no todo coletivo sobre a fração de contribuintes que aproximadamente serão fiscalizados pelo governo (ρ_t), daqueles que declaram o imposto (d_t), dos que serão fiscalizados na opinião da sociedade (F_t) e dos contribuintes repreendidos (σ_t), levando em conta as diferentes configurações de sociedade.

Os agentes são autônomos e heterogêneos. A heterogeneidade refere-se ao risco aceitável (r_i) e à influência social (θ_i). Dentro desta sociedade, cada agente é autônomo, pois maximiza a sua utilidade esperada através de uma função de utilidade $S_{i,t}$.

Os resultados foram apresentados na [Seção 3.2](#) para diferentes configurações de sociedade (parâmetros p e m) e condição inicial da simulação.

Como conclusões gerais, temos que:

- Para $p \neq 0$, a curva F se aproximou de ρ . O comportamento dessas curvas apresentou pouca sensibilidade à variação de $0 < p \leq 1$. No entanto, resultados significativos foram encontrados comparando $p = 0$ e $p \neq 0$, sugerindo que a simples existência de probabilidade de conexões entre contribuintes, mesmo que pequena, permite troca de informações entre contribuintes e possibilita adaptação deles diante das ações do governo. A interação social pode ser um meio relevante de disseminação de informação, aproximando o resultado da opinião da sociedade à estratégia do governo em fiscalização. Como discutido na [Seção 2.3](#), a probabilidade “real” e a probabilidade “percebida” de ser fiscalizado é uma aproximação aceitável, nos casos de sociedades compostas por agentes suscetíveis socialmente.
- Para $p = 0$, o comportamento das curvas F e ρ dependeram da variação de m , decaimento da percepção do contribuinte i sobre a fiscalização, caso ele não tenha sido fiscalizado. Os resultados sugerem que, quanto maior o valor de m , mais a curva F se aproxima da curva ρ . Consequentemente, a curva d também se aproximou de ρ .
- Resultados imprevisíveis foram encontrados ao variar τ , período de tempo considerado para o governo revisar ρ_t . Combinada com a variação de p e/ou ρ , é possível obter um padrão de comportamento das curvas F , d e ρ com características oscilatórias, sincronizadas ou defasadas, sugerindo que a inclusão da possibilidade de alteração do comportamento do governo (através de τ) criou uma certa instabilidade também no comportamento do contribuinte. Diferentes movimentos das curvas F e d foram encontrados ao variar τ .
- Resultados imprevisíveis também foram encontrados ao alterar a condição inicial de $P_{i,t=0}$. Para aumentar nível de arrecadação (curva d), o esforço do governo (ρ) é

alterado a cada iteração ($\tau = 1$), mantendo características oscilatórias e com baixa amplitude de ρ , como mostrados no Gráfico 17a.

- O modelo revelou maior sensibilidade ao variar os parâmetros m e τ , apresentando comportamentos imprevisíveis, como os apresentados no Gráfico 11: mesmo em uma sociedade com contribuintes isolados, seria possível a opinião da sociedade conhecer a estratégia do governo quanto à fiscalização, um dos pressupostos do modelo de Allingham e Sandmo (1972).
- O Gráfico 11f é muito parecido com o Gráfico 17f, o que sugere que a condição inicial de $P_{i,t=0}$ não teria influenciado no resultado da simulação do modelo, um resultado imprevisível, pois $\tau = 2\%$, $m = 50\%$ e $p = 0\%$. Além disso, todas as curvas apresentaram pouca incerteza (desvio-padrão), além de um comportamento sincronizado entre elas, as quais representam as ações, no nível agregado, entre sociedade e governo.

4.1 Considerações Finais

O modelo proposto é abstrato e simplificado que busca reproduzir a essência de um fenômeno social de evasão fiscal. Ainda que essa simplificação possa ser objeto de questionamentos, entendemos que esse projeto de pesquisa é um primeiro passo que envolva modelos de evasão fiscal com objetivo específico de analisar, à luz da complexidade, o efeito da percepção dos contribuintes, incluindo também interações sociais e ambientais.

Aqui sugerimos a inclusão de outros conceitos (que não foram abordados nesta dissertação) e indicamos aprimoramentos e evolução do modelo proposto.

Para pesquisas futuras, sabemos que a regra de fiscalização por sorteio deve ser aprofundada. Os trabalhos de fiscalização do governo podem ser divididos em duas etapas: a malha fina e a auditoria (SIQUEIRA, 2004; SIQUEIRA; RAMOS, 2006). Na prática, a declaração do imposto de renda é retida na “malha fina”, não de forma aleatória, mas com base em informações que o próprio fisco já tenha sobre o contribuinte, por exemplo, a partir de denúncia ou através de algum critério indicativo de sonegação para selecionar os contribuintes a serem fiscalizados.

Outra sugestão de pesquisa é a inclusão do custo de fiscalização medido pelo esforço. Geralmente as instituições fiscalizadoras de tributos têm estratégias distintas com relação às duas atividades de fiscalização. As auditorias exigem estudo aprofundado de livros fiscais e contábeis, o que despende maior esforço e custo. Por outro lado, a “malha fina” aborda um maior número de contribuintes por menor custo, utilizando ferramentas de cruzamento de dados, por exemplo.

Além disso, no modelo proposto, não foi considerado um valor máximo (teto) para a variável ρ , que é o valor aproximado da fração de contribuintes que serão fiscalizados pelo governo (a cada iteração), o que confronta com a realidade dos cofres públicos, pois o fisco possui um orçamento limitado para realizar um número determinado de fiscalizações. Essa sugestão também foi identificada nos resultados obtidos no [Gráfico 4](#).

Outra possibilidade que o modelo proposto permite: estudar os efeitos da variável q . Outrossim, é possível estender o modelo incluindo um *delay* da ação do governo na percepção do contribuinte.

Sabemos que o modelo proposto poderá ser evoluído com a inclusão de variáveis monetárias do contribuinte, tais como: renda declarada, renda real, alíquota do imposto e multa por infração, como já consideradas nos modelos de evasão fiscal publicados e citados nesta dissertação. Foram explicados, na [Seção 2.3](#) e na [Seção 3.1](#), os motivos da nossa escolha em desconsiderá-las, sendo o principal deles o interesse particular na variável **probabilidade de fiscalização**, em contrapartida à variável renda declarada.

Ainda há espaço para abordar alternativas de vigilância pelo governo, analisando a fiscalização como mecanismo de coerção, embora, no âmbito jurídico, a fiscalização seja definida em lei como uma atividade administrativa de constituição de crédito (decorrente de obrigação tributária), sob pena de responsabilidade funcional da autoridade fiscal, portanto, não tendo relação com possíveis “correções” na conduta criminosa de sonegação no futuro. Nesse caso, seria também possível debater situações em que os direitos individuais do contribuinte entram em conflito com o benefício coletivo da sociedade, por exemplo, o sigilo fiscal.

Para a modelagem do comportamento de evasão, ainda há possibilidade de analisar os efeitos a partir de cada ação do governo: detecção, fiscalização e punição.

Ademais, há campo para expandir nosso modelo em outras redes complexas, tais como: redes mundo-pequeno e redes livres de escala.

Na área de psicologia social, há campo também para estudo do comportamento do contribuinte, com o objetivo de compreender qual é a relação direta entre comportamento honesto e fatores subjetivos, como crenças, tax morale, culpa e vergonha.

O agente modelado nesta dissertação é único e racional, que decide se declara ou não o imposto, aproximando do modelo de [Bloomquist \(2006\)](#). No entanto, é possível sugerir outros tipos de comportamento: ético, imitador, trapaceiro, confuso etc. Além disso, outra sugestão é criar mecanismos de alteração desse comportamento, tal como no modelo de [Mittone e Patelli \(2000\)](#).

Por fim, o grande desafio da pesquisa em evasão fiscal é obter dados empíricos ([ENGEL; HINES, 1999](#); [SIQUEIRA; RAMOS, 2005](#); [SLEMROD, 2007](#); [DEBACKER; HEIM; TRAN, 2012](#)) para possibilitar a comparação dos resultados do modelo proposto.

REFERÊNCIAS

ALBERT, R.; BARABÁSI, A. L. Statistical mechaics of complex networks. **Reviews of Modern Physics**, v. 74, n. 1, p. 47–97, January 2002.

ALLINGHAM, M. G.; SANDMO, A. Income tax evasion: a theoretical analysis. **Journal of Public Economics**, v. 1, n. 3–4, p. 323–338, November 1972.

ALM, J. A perspective on the experimental analysis of taxpayer reporting. **Accounting Review**, v. 66, n. 3, p. 577–593, 1991. ISSN 00014826.

ANDREI, A. L.; COMER, K.; KOEHLER, M. An agent-based model of network effects on tax compliance and evasion. **Journal of Economic Psychology**, v. 40, n. 0, p. 119–133, 2014. ISSN 0167-4870. Special Issue on Behavioral Dynamics of Tax Evasion.

ANDREONI, J.; ERARD, B.; FEINSTEIN, J. Tax compliance. **Journal of Economic Literature**, v. 36, n. 2, p. 818–860, 1998. ISSN 00220515.

ANTUNES, L. et al. Tax compliance in a simulated heterogeneous multi-agent society. In: SICHMAN, J. S.; ANTUNES, L. (Ed.). **Multi-Agent-Based Simulation VI**. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2006, (Lecture Notes in Computer Science, v. 3891). p. 147–161. ISBN 978-3-540-33380-7.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa**. [S.l.]: Pioneira Thomson Learning, 2006. ISBN 9788522104093.

ARTHUR, W. B. Complexity economics: A different framework for economic thought. **Santa Fe Institute Working Paper**, n. 2013-4-2012, p. 22, 2013.

AUERBACH, A. J.; JR., J. R. H. Taxation and economic efficiency. In: AUERBACH, A. J.; FELDMAN, M. (Ed.). **Handbook of public economics**. [S.l.]: Elsevier, 2002, (Handbooks in Economics Series, v. 3). cap. 21, p. 1347–1421.

AXELROD, R. Chapter 33 agent-based modeling as a bridge between disciplines. In: TEFATSION, L.; JUDD, K. (Ed.). [S.l.]: Elsevier, 2006, (Handbook of Computational Economics, v. 2). p. 1565 – 1584.

AXELROD, R.; TEFATSION, L. A guide for newcomers to agent-based modeling in the social sciences. In: TEFATSION, L.; JUDD, K. L. (Ed.). **Handbook of Computational Economics, Vol. 2: Agent-Based Computational Economics**. Amsterdam: Elsevier/North-Holland, 2005, (Handbooks in Economics Series).

BANCO MUNDIAL. **The Worldwide Governance Indicators (WGI) project**. The World Bank Group, 2013. Website. Acesso em: 18 Jun. 2013. Disponível em: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#reports>.

_____. **Tax revenue (As a percentage of gross domestic product)**. The World Bank Group, 2014. Website. Acesso em: 17 Mai. 2014. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/GC.TAX.TOTL.GD.ZS>.

- BARABÁSI, A. L. **Linked**: how everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life. New York: Plume, 2003. 294 p. ISBN 0452284392.
- BECKER, G. S. Crime and punishment: An economic approach. **Journal of Political Economy**, The University of Chicago Press, v. 76, n. 2, p. 169–217, 1968. ISSN 00223808.
- BIDERMAN, C.; ARVATE, P. **Economia do setor público no Brasil**. 4. ed. [S.l.]: Elsevier, 2004. ISBN 9788535215304.
- BLOOMQUIST, K. M. A comparison of agent-based models of income tax evasion. **Social Science Computer Review**, v. 24, n. 4, p. 411–425, 2006.
- BOCCARA, N. **Modeling Complex Systems**. [S.l.]: Springer Verlag, 2004. ISBN 9780387404622.
- BOVI, M.; CERQUETI, R. **Why is the Tax Evasion so Persistent?** Rome, Italy: ISAE - Istituto di Studi e Analisi Economica, 2009. (Documenti di Lavoro).
- BRASIL. **Código Tributário Nacional**: Lei n. 5172 de 25 de outubro de 1966. Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1966.
- _____. **Lei n. 8137 de 27 de dezembro de 1990**: Define crimes contra a ordem tributária, econômica e contra as relações de consumo, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1990.
- BRASIL. Ministério da Fazenda. Escola de Administração Fazendária. Programa Nacional de Educação Fiscal. **Educação fiscal no contexto social**. Brasília: ESAF, 2009. 52 p. (Série Educação Fiscal. Caderno 1). Disponível em: http://www.esaf.fazenda.gov.br/educacao_fiscal/pnef/cadernos-pedagogicos-def/caderno-1-educacao-fiscal-no-contexto-social.
- BRASIL. Ministério da Fazenda. Secretaria da Receita Federal do Brasil. **Carga tributária no Brasil 2011 (Análise por Tributo e Bases de Incidência)**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/Publico/estudoTributarios/estatisticas/CTB2011.pdf>.
- _____. **Carga tributária no Brasil 2012 (Análise por Tributo e Bases de Incidência)**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/publico/estudoTributarios/estatisticas/CTB2012.pdf>.
- CARVALHO, P. de B. **Curso de direito tributário**. 23. ed. [S.l.]: Saraiva, 2010. ISBN 9788502087699.
- CHEN, S.-H. Varieties of agents in agent-based computational economics: A historical and an interdisciplinary perspective. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 36, n. 1, p. 1 – 25, 2012. ISSN 0165-1889.
- COSTA, L. da F. et al. Characterization of complex networks: A survey of measurements. **Advances in Physics**, v. 56, n. 1, p. 167–242, 2007.

- COWELL, F. **Cheating the Government: The Economics of Evasion**. [S.l.]: Mit Press, 1990. ISBN 9780262532488.
- DEBACKER, J. M.; HEIM, B. T.; TRAN, A. **Importing Corruption Culture from Overseas: Evidence from Corporate Tax Evasion in the United States**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2012. (NBER Working Paper Series, 17770).
- DEITEL, H.; DEITEL, P. **Java, como programar**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- ELSTER, J. Social norms and economic theory. **Journal of Economic Perspectives**, v. 3, n. 4, p. 99–117, 1989. ISSN 08953309.
- ENGEL, E. M.; HINES, J. J. R. **Understanding Tax Evasion Dynamics**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 1999. (NBER Working Paper Series, 6903).
- EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. L. **Growing Artificial Societies: Social science from the bottom up**. 1. ed. Cambridge, MA: Brookings Institution Press MIT Press, 1996. ISBN 9780262550253.
- FERBER, J. **Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective**. Paris: InterEditions, 1995. ISBN 9782729606657.
- GARDNER, M. **Wheels, Life, and Other Mathematical Amusements**. [S.l.]: W H Freeman & Company, 1983. ISBN 9780716715894.
- GIAMBIAGI, F.; ALÉM, A. de. **Finanças públicas: teoria e prática no Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- GRIMM, V. et al. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. **Ecological Modelling**, v. 198, n. 1–2, p. 115–126, 2006. ISSN 0304-3800.
- HOKAMP, S.; PICKHARDT, M. Income tax evasion in a society of heterogeneous agents - evidence from an agent-based model. **International Economic Journal**, v. 24, n. 4, p. 541–553, 2010.
- HUNGERFORD, T. L. **Taxes and the Economy: An Economic Analysis of the Top Tax Rates Since 1945 (Updated)**. 2012. Disponível em: <http://digitalcommons.ilr.cornell.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1987&context=key_workplace>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO TRIBUTÁRIO. **Carga tributária brasileira 2013**. São Paulo (SP), 2013. Disponível em: <<http://www.ibpt.com.br/img/uploads/novelty/estudo/559/CargaTributaria2012IBPT.pdf>>.
- _____. **CÁLCULO DO IRBES (Índice de Retorno de Bem Estar à sociedade)**: Estudo sobre a carga tributária/pib x idh. São Paulo (SP), 2013.
- _____. **Dias trabalhados para pagar tributos**. São Paulo (SP), 2013. Disponível em: <<http://www.ibpt.com.br/img/uploads/novelty/estudo/921/ESTUDODIASTRABALHADOSEDICAO2013.pdf>>.

_____. **Impostômetro**. São Paulo (SP), 2013. Website. Acesso em: 18 Jun. 2013. Disponível em: <<http://www.impostometro.com.br/>>.

KAUFMANN, D.; KRAAY, A.; MASTRUZZI, M. The worldwide governance indicators: Methodology and analytical issues. **Policy Research Working Paper**, The World Bank, n. 5430, p. 31, 2010.

KOROBOW, A.; JOHNSON, C.; AXTELL, R. An agent-based model of tax compliance with social networks. **National Tax Journal**, v. 60, n. 3, p. 589–610, 2007. ISSN 00280283.

LIMA, T. F. et al. Modelagem de sistemas baseada em agentes: alguns conceitos e ferramentas. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 5279–5286.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on agent-based modelling and simulation. Part 2: How to Model with Agents. In: PERRONE, L. F. et al. (Ed.). **Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference**. [S.l.: s.n.], 2006.

MANSELL, R. **The Oxford handbook of information and communication technologies**. Oxford: Oxford University Press, 2009.

MILLER, J.; PAGE, S. **Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life: An Introduction to Computational Models of Social Life**. [S.l.]: Princeton University Press, 2009. ISBN 9781400835522.

MITCHELL, M. **Complexity: A Guided Tour**. [S.l.]: Oxford University Press, USA, 2009. ISBN 9780195124415.

MITTONE, L.; PATELLI, P. Imitative behaviour in tax evasion. In: LUNA, F.; STEFANSSON, B. (Ed.). **Economic Simulations in Swarm: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming**. [S.l.]: Springer US, 2000, (Advances in Computational Economics, v. 14). p. 133–158. ISBN 978-1-4613-7099-4.

NEWMAN, M. The structure and function of complex networks. **SIAM Review**, v. 45, n. 2, p. 167–256, 2003.

NEWMAN, M. E. J. Resource letter cs 1: Complex systems. **American Journal of Physics**, v. 79, n. 8, p. 800–810, 2011.

NIAZI, M.; HUSSAIN, A. Agent-based tools for modeling and simulation of self-organization in peer-to-peer, ad hoc, and other complex networks. **Communications Magazine, IEEE**, v. 47, n. 3, p. 166–173, March 2009. ISSN 0163-6804.

NORTH, D. C. **Institutions, Institutional Change and Economic Performance**. New York: Cambridge University Press, 1990. ISBN 9780521397346.

_____. **Custos de transação, instituições e desempenho econômico**. [S.l.]: Instituto Liberal, 1998.

OLIVER, D.; KELLIHER, T.; KEEGAN, J. **Engineering Complex Systems: With Models and Objects**. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 1997. ISBN 9780070481886.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Database Public Sector, Taxation and Market Regulation - Taxation - Revenue Statistics**. 2014. Website. Acesso em: 17 Mai. 2014. Disponível em: <http://stats.oecd.org>.

_____. **Total tax revenue 2013/1 (As a percentage of gross domestic product)**. 2014. Website. Acesso em: 17 Mai. 2014. Disponível em: http://www.oecd-ilibrary.org/taxation/total-tax-revenue_20758510-table2.

PINDYCK, R.; RUBINFELD, D. **Microeconomia**. 6. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2006. ISBN 9788576050186.

PINHEIRO, A.; GIAMBIAGI, F. **Rompendo O Marasmo: A Retomada Do Desenvolvimento No Brasil**. [S.l.]: Elsevier, 2006. ISBN 9788535215090.

POLINSKY, A.; SHAVELL, S. **Handbook of Law and Economics**. Amsterdam: Elsevier, 2007. ISBN 9780444512352.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Desenvolvimento Humano e IDH**. Brasília (DF), 2013. Website. Acesso em: 18 Jun. 2013. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/IDH/DH.aspx>.

_____. **Data - Human Development Indicators and Thematic Tables: Human development: Data trends by indicator**. 2014. Website. Acesso em: 17 Mai. 2014. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/data>.

SANDMO, A. The theory of tax evasion: A retrospective view. **National Tax Journal**, v. 58, n. 4, p. 643–663, 2005. ISSN 00280283.

SCHELLING, T. C. Dynamic models of segregation. **Journal of mathematical sociology**, v. 1, n. 2, p. 143–186, 1971.

_____. **Micromotives and macrobehavior**. [S.l.]: W. W. Norton, 1978.

SERVICE, R. F. Complex systems. exploring the systems of life. **Science (New York, N.Y.)**, v. 284, n. 5411, p. 80, 1999. ISSN 0036-8075.

SICHMAN, J. S. **Raciocínio social e organizacional em sistemas multiagentes: Avanços e perspectivas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, 2003. 235 p. Tese (Livre Docência).

SINDICATO DOS PROCURADORES DA FAZENDA NACIONAL. **Sonegação no Brasil. Uma Estimativa do Desvio da Arrecadação**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.sonegometro.com/pdfs/sonegacao-no-brasil-uma-estimativa-do-desvio-da-arrecadacao.pdf>.

_____. **Sonegômetro**. São Paulo (SP), 2013. Website. Acesso em: 18 Jun. 2013. Disponível em: <http://www.sonegometro.com.br/>.

SIQUEIRA, M. L. **Um modelo econômico para análise da evasão fiscal do imposto sobre a renda no Brasil**. 125 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Economia., Recife, 2004.

SIQUEIRA, M. L.; RAMOS, F. S. A economia da sonegação: teorias e evidências empíricas. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 9, p. 555 – 581, 12 2005. ISSN 1415-9848.

_____. Evasão fiscal do imposto sobre a renda: uma análise do comportamento do contribuinte ante o sistema impositivo brasileiro. **Economia Aplicada**, v. 10, p. 399 – 424, 09 2006. ISSN 1413-8050.

SLEMROD, J. Cheating ourselves: The economics of tax evasion. **The Journal of Economic Perspectives**, American Economic Association, v. 21, n. 1, p. 25–48, 2007. ISSN 08953309.

SLEMROD, J.; YITZHAKI, S. **Tax Avoidance, Evasion, and Administration**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2000. (NBER Working Paper Series, 7473).

SMITH, J. M. **Models in Ecology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1974.

SOUR, L. An economic model of tax compliance with individual morality and group conformity. **Economía Mexicana. Nueva Época**, Centro de Investigación y Docencia Económicas, AC, v. 13, n. 1, p. 43–61, 2004.

STIGLITZ, J. **Economics of the Public Sector**. 3. ed. Worldwide: W W Norton, 2000. ISBN 9780393966510.

SUN, R. **Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2008. ISBN 9780521839648.

TESFATSION, L. Agent-based computational economics: modeling economies as complex adaptive systems. **Information Sciences**, v. 149, n. 4, p. 262 – 268, 2003. ISSN 0020-0255.

TORGLER, B.; SCHNEIDER, F. The impact of tax morale and institutional quality on the shadow economy. **Journal of Economic Psychology**, v. 30, n. 2, p. 228–245, 2009. ISSN 0167-4870.

VARIAN, H. R. **Microeconomia - Principios Basicos**. 7. ed. [S.l.]: CAMPUS, 2006. ISBN 9788535216707.

WEISS, G. **Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. [S.l.]: Mit Press, 1999. ISBN 9780262731317.

WILLIAMSON, O. E. **The Economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting**. London: Macmillan Free Press, 1985.

WINTROBE, R. **Tax evasion and trust**. London, Ontario: The University of Western Ontario, Department of Economics, 2001. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/70360>.

WINTROBE, R.; GËRXHANI, K. **Tax evasion and trust: a comparative analysis**. 2004. Disponível em: <http://www.diw.de/documents/dokumentenarchiv/17/41525/Paper-214.pdf>.

WOLFRAM, S. **A New Kind of Science**. Wolfram Media, 2002. ISBN 1579550088. Disponível em: <http://www.wolframscience.com>.

ZAKLAN, G.; WESTERHOFF, F.; STAUFFER, D. Analysing tax evasion dynamics via the ising model. **Journal of Economic Interaction and Coordination**, Springer-Verlag, v. 4, n. 1, p. 1–14, 2009. ISSN 1860-711X.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Bibliotecas JAVA

Bibliotecas	Descrição
collections-generic-4.01	Implementa estruturas de dados complexas e conjuntos
commons-logging-1.1	Serve como ponte entre diversas implementações de log
commons-math3-3.2	Contém componentes matemáticos e estatísticos complexos
dom4j-1.6.1	Serve para trabalhar com XML com suporte a DOM, SAX e JAXP
jcommon-1.0.21	Contém uma miscelânea de classes usadas pela biblioteca JFreeChart
jfreechart-1.0.17	Serve para mostrar gráficos de modo profissional
jung-algorithms-2.0.1	Provê uma linguagem comum e extensível para modelagem, análise e visualização de dados representados em grafos e redes
jung-api-2.0.1	
jung-graph-impl-2.0.1	
jung-visualization-2.0.1	
junit-3.8.1	Permite fazer log na aplicação
log4j-1.2.13	
poi-3.8-20120326	
poi-ooxml-3.8-20120326	Serve para manipular diversos formatos baseados no padrão Office Open XML
poi-ooxml-schemas-3.8-20120326	
stax-api-1.0.1	Expõe métodos para processamento de documentos XML
xmlbeans-2.3.0	Serve para acessar XML através de bind para tipos Java

ANEXOS

ANEXO A – Evolução da Carga Tributária Bruta no Brasil

Fonte: Brasil (2013).

ANEXO B – Carga Tributária Bruta entre 2010 e 2012: América Latina

Revenue Statistics - Latin American Countries : Comparative tables ¹

Customise Export Draw chart My Queries

→ Tax	Total tax revenue		
→ Government	Total		
→ Variable	Tax revenue as percentage of GDP		
→ Year	2010	2011	2012
→ Country			
Chile	19.5	21.2	20.8
Mexico	18.9	19.7	18.9
Argentina	33.5	34.6	37.3
Bolivia	20.7	26.6	28.1
Brazil	33.2	34.9	36.3
Colombia	18.0	18.8	19.6
Ecuador	16.8	17.9	20.2
Paraguay	16.5	13.8	12.7
Uruguay	27.0	27.3	26.3
Venezuela	11.4	12.5	13.2

Data extracted on 17 May 2014 19:04 UTC (GMT) from OECD.Stat

Fonte: OCDE (2014b).

ANEXO C – Carga Tributária Bruta entre 2010 e 2012: diversos países

Revenue Statistics - Comparative tables

Customise

Export

Draw chart

My Queries

Government		Total	
Tax		Total tax revenue	
Variable		Tax revenue as percentage of GDP	
Year		2010	2011
Country	Unit		
Chile		19.5	21.2
Czech Republic		33.9	34.9
Estonia		34.0	32.3
France		42.9	44.1
Germany		36.2	36.9
Greece		31.6	32.2
Hungary		38.0	37.1
Italy		43.0	43.0
Mexico		18.9	19.7
Slovenia		38.1	37.1
Spain		32.5	32.2
Turkey		26.2	27.8
United States		23.8	24.0

Data extracted on 17 May 2014 18:00 UTC (GMT) from

OECD Stat

Data extracted on 17 May 2014 19:00 UTC (GMT) from OECD.Stat

Fonte: OCDE (2014b).

ANEXO D – Carga Tributária Bruta entre 2005 e 2012: diversos países

Total tax revenue
As a percentage of gross domestic product

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Australia	30.0	29.6	29.7	27.1	25.8	25.6	26.5	..
Austria	42.1	41.5	41.8	42.8	42.4	42.2	42.3	43.2
Belgium	44.5	44.1	43.6	44.0	43.1	43.5	44.1	45.3
Canada	32.3	32.6	32.3	31.6	31.4	30.6	30.4	30.7
Chile	20.7	22.0	22.8	21.4	17.2	19.5	21.2	20.8
Czech Republic	36.1	35.6	35.9	35.0	33.8	33.9	34.9	35.5
Denmark	50.8	49.6	48.9	47.8	47.8	47.4	47.7	48.0
Estonia	30.6	30.7	31.4	31.9	35.3	34.0	32.3	32.5
Finland	43.9	43.8	43.0	42.9	42.8	42.5	43.7	44.1
France	44.1	44.4	43.7	43.5	42.5	42.9	44.1	45.3
Germany	35.0	35.7	36.1	36.5	37.4	36.2	36.9	37.6
Greece	32.1	31.6	32.5	32.1	30.5	31.6	32.2	33.8
Hungary	37.3	37.3	40.3	40.1	39.9	38.0	37.1	38.9
Iceland	40.7	41.5	40.6	36.7	33.9	35.2	36.0	37.2
Ireland	30.1	31.6	31.1	29.2	27.6	27.4	27.9	28.3
Israel ¹	35.7	36.0	36.4	33.8	31.3	32.4	32.6	31.6
Italy	40.6	42.1	43.2	43.0	43.4	43.0	43.0	44.4
Japan	27.3	28.1	28.5	28.5	27.0	27.6	28.6	..
Korea	24.0	25.0	26.5	26.5	25.5	25.1	25.9	26.8
Luxembourg	37.6	35.9	35.6	37.3	39.0	37.3	37.0	37.8
Mexico	18.1	18.2	17.7	20.9	17.4	18.9	19.7	..
Netherlands	38.4	39.1	38.7	39.2	38.2	38.9	38.6	..
New Zealand	36.4	35.7	34.5	33.6	31.1	31.1	31.5	32.9
Norway	43.2	43.5	42.9	42.1	42.0	42.6	42.5	42.2
Poland	33.0	34.0	34.8	34.2	31.7	31.7	32.3	..
Portugal	31.1	31.8	32.5	32.5	30.7	31.2	33.0	32.5
Slovak Republic	31.5	29.4	29.5	29.5	29.1	28.3	28.7	28.5
Slovenia	38.6	38.3	37.7	37.1	37.0	38.1	37.1	37.4
Spain	36.0	36.9	37.3	33.1	30.9	32.5	32.2	32.9
Sweden	48.9	48.3	47.4	46.4	46.6	45.4	44.2	44.3
Switzerland	28.1	27.9	27.7	28.1	28.7	28.1	28.6	28.2
Turkey	24.3	24.5	24.1	24.2	24.6	26.2	27.8	27.7
United Kingdom	35.4	36.3	35.7	35.8	34.2	34.9	35.7	35.2
United States	26.0	26.8	26.9	25.4	23.3	23.8	24.0	24.3
OECD-Total ²	34.8	35.0	35.0	34.5	33.6	33.8	34.1	..

Last updated: 17 January 2014; disclaimer: <http://oe.cd/disclaimer>

.. Not available

1. Information on data for Israel: <http://dx.doi.org/10.1787/888932315602>.

2. Unweighted average

Source: Revenue statistics: Comparative tables, OECD Tax Statistics (database)

Fonte: OCDE (2014b).

ANEXO E – Carga Tributária Bruta entre 2010 e 2012

Tax revenue (% of GDP) ▼ ⓘ

	2010	2011	2012
Argentina	..	..	..
Bolivia	..	..	..
Brazil	15	16	15
Chile	17	19	19
Colombia	12	15	13
Czech Republic	13	13	13
Ecuador	..	..	..
Estonia	16	16	16
France	21	21	21
Germany	11	11	12
Greece	20	21	22
Hungary	23	21	23
Italy	22	22	22
Mexico	..	..	..
Paraguay	12	13	13
Slovenia	17	17	18
Spain	11	9	7
Turkey	20	20	20
United States	9	10	10
Uruguay	20	19	19
Venezuela, RB	..	..	..

Fonte: Banco Mundial (2014).

ANEXO F – IDH entre 2010 e 2012: América Latina

HDI Rank	Country	2010	2011	2012
45	Argentina	0.805	0.81	0.811
108	Bolivia (Plurinational State of)	0.668	0.671	0.675
85	Brazil	0.726	0.728	0.73
40	Chile	0.813	0.817	0.819
91	Colombia	0.714	0.717	0.719
89	Ecuador	0.719	0.722	0.724
61	Mexico	0.77	0.773	0.775
111	Paraguay	0.668	0.67	0.669
51	Uruguay	0.785	0.789	0.792
71	Venezuela (Bolivarian Republic of)	0.744	0.746	0.748

Fonte: PNUD (2014).

ANEXO G – IDH entre 2010 e 2012: diversos países

HDI Rank		Country	2010	2011	2012
	28	Czech Republic	0.871	0.872	0.873
	33	Estonia	0.839	0.844	0.846
	20	France	0.891	0.893	0.893
	5	Germany	0.916	0.919	0.92
	29	Greece	0.866	0.862	0.86
	37	Hungary	0.829	0.83	0.831
	25	Italy	0.881	0.881	0.881
	21	Slovenia	0.892	0.892	0.892
	23	Spain	0.884	0.885	0.885
	90	Turkey	0.715	0.72	0.722
	3	United States	0.934	0.936	0.937

Fonte: PNUD (2014).

ANEXO H – WGI de efetividade do governo: 2012

Worldwide Governance Indicators

Indicator	Country	Year	Number of Sources	Governance Score (-2.5 to +2.5)	Percentile Rank (0 to 100)	Standard Error
Government Effectiveness	Argentina	2012	11	-0.25	45.45	0.19
	Brazil	2012	11	-0.12	50.24	0.19
	Chile	2012	10	1.25	86.60	0.19
	Colombia	2012	11	0.01	56.94	0.19
	Czech Republic	2012	9	0.92	76.56	0.21
	Ecuador	2012	10	-0.51	37.32	0.19
	Estonia	2012	9	0.96	77.99	0.21
	France	2012	7	1.33	87.56	0.22
	Germany	2012	7	1.57	93.30	0.22
	Greece	2012	7	0.31	62.20	0.22
	Hungary	2012	9	0.62	70.81	0.21
	Italy	2012	7	0.41	66.03	0.22
	Mexico	2012	11	0.32	63.16	0.19
	Paraguay	2012	10	-0.90	19.62	0.19
	Slovenia	2012	9	1.02	80.86	0.21
	Spain	2012	7	1.11	82.30	0.22
	Turkey	2012	11	0.40	65.07	0.19
	United States	2012	7	1.51	90.43	0.22
	Uruguay	2012	9	0.44	66.99	0.20
	Venezuela, RB	2012	11	-1.14	12.92	0.19

Fonte: Kaufmann, Kraay e Mastruzzi (2010) apud Banco Mundial (2013)

ANEXO I – WGI de confiança na justiça: 2012

Worldwide Governance Indicators

Indicator	Country	Year	Number of Sources	Governance Score (-2.5 to +2.5)	Percentile Rank (0 to 100)	Standard Error
Rule of Law	Argentina	2012	18	-0.71	29.38	0.13
	Brazil	2012	17	-0.11	51.66	0.13
	Chile	2012	15	1.37	88.15	0.14
	Colombia	2012	18	-0.39	43.60	0.13
	Czech Republic	2012	15	1.01	81.52	0.13
	Ecuador	2012	16	-1.16	11.85	0.14
	Estonia	2012	14	1.13	84.36	0.13
	France	2012	11	1.43	90.05	0.15
	Germany	2012	12	1.64	91.94	0.15
	Greece	2012	12	0.39	63.51	0.15
	Hungary	2012	15	0.60	68.25	0.13
	Italy	2012	13	0.36	62.09	0.15
	Mexico	2012	18	-0.56	36.02	0.13
	Paraguay	2012	15	-0.87	20.85	0.14
	Slovenia	2012	14	0.98	80.57	0.13
	Spain	2012	11	1.04	83.41	0.15
	Turkey	2012	17	0.04	56.87	0.13
	United States	2012	13	1.60	91.47	0.15
	Uruguay	2012	14	0.54	66.35	0.14
	Venezuela, RB	2012	18	-1.69	0.95	0.13

Fonte: Kaufmann, Kraay e Mastruzzi (2010) apud Banco Mundial (2013)