CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

ROGÉRIO SCABIM MORANO

DA TRAGÉDIA DOS COMUNS À AÇÃO COLETIVA ORGANIZADA:

um estudo sobre o uso dos recursos comuns por meio de simulação baseada em agentes

São Paulo
2014

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

ROGÉRIO SCABIM MORANO

DA TRAGÉDIA DOS COMUNS À AÇÃO COLETIVA ORGANIZADA:

um estudo sobre o uso dos recursos comuns por meio de simulação baseada em agentes

Tese de Doutorado apresentada ao Centro Universitário da FEI para obtenção do título de Doutor em Administração, orientada pelo Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes.

São Paulo
2014

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

APRESENTAÇÃO DE TESE
ATA DA BANCA JULGADORA

Doutorado

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Administração

PPGA-10

Candidato: Rogerio Scabim Morano Matrícula: 711205-5

Título do Trabalho: Da Tragédia dos Comuns à Ação Coletiva Organizada: Um estudo sobre o uso dos recursos comuns por meio de simulação baseada em agentes.

Área: ☒ Capacidades Organizacionais ☐ Estratégia de Mercados e Consumo ☐ Sustentabilidade

Orientador: Edmilson Alves de Moraes

Data da realização da prova: 07/ 10/ 2014.

A Banca Julgadora abaixo-assinada, atribuiu ao candidato o seguinte:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

São Paulo, 07/ 10/ 2014.

ORIGINAL ASSINADO

MEMBROS DA BANCA JULGADORA

PROF. DR. EDMILSON ALVES DE MORAES

ASS.: _____

PROF. DR. ROBERTO CARLOS BERNARDES

ASS.: _____

PROF. DR. JOSE MAURO DA COSTA HERNANDEZ

ASS.: _____

PROF. DR. JULIO FIGUEIREDO

ASS.: _____

PROF. DR. CHARLES KIRSCHBAUM

ASS.: _____

Versão Final da Dissertação

Endosso do Orientador após a inclusão
das recomendações da Banca Examinadora

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-Graduação

_____

Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes

Ao meu filho Ulisses e à minha esposa Cíntia,
fontes de energia e inspiração.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me iluminou e não me faltou nesses últimos anos em que me dediquei ao curso de doutorado.

Ao Centro Universitário da FEI, pela oportunidade de continuar meus estudos de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes, coordenador do programa de pós-graduação e meu orientador, pelo apoio, ensinamentos, ajuda e força em todos os momentos do curso. Sua presença foi determinante para o logro dos objetivos delineados, pois esteve ao meu lado em todos os momentos, inclusive naqueles em que mais precisei. Foi sempre professor e orientador, assim como amigo, irmão, pai, confidente e guia. Devo muito a ele.

Aos professores que formaram minha banca de qualificação, Prof. Dr. Charles Kirschbaum e Prof. Dr. Júlio Cesar Figueiredo, pela orientação, direcionamento e esclarecimentos fundamentais para a elaboração e a finalização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Mauro Hernandez, meu professor na disciplina Técnicas de Mensuração, pelos ensinamentos que farão a diferença em minha carreira acadêmica e permitirão que eu possa desenvolver pesquisas mais sólidas e robustas no futuro.

Aos demais professores do programa, pelos conhecimentos transmitidos tão importantes para meu processo de crescimento e amadurecimento.

Aos colegas do curso, determinantes para que eu pudesse enfrentar todas as dificuldades desses três anos. As lembranças que tenho deles estarão sempre guardadas em meu coração. Espero não perder contato e revê-los muitas vezes durante toda a trajetória que começo a desenvolver a partir de agora.

Aos amigos de agora e ontem, que estiveram sempre presentes de corpo e alma, garantindo a mim o ânimo e a energia essenciais para que eu pudesse realizar esse sonho.

Aos meus pais, que mais uma vez foram fundamentais em minha jornada acadêmica, viabilizando mais este projeto e não me faltando nos momentos em que mais precisei. Espero ter condições de retribuir tudo o que eles fizeram e fazem por mim.

À minha amada esposa, Cíntia, e ao meu querido filho, Ulisses, pelo apoio e pela compreensão ao longo desses anos de estudo. Como a família é a base de tudo, sou uma pessoa realizada por poder dividir essa vitória com eles, que são a razão do meu esforço e das minhas conquistas nesta vida.

Uma sociedade que não privilegia a tomada de decisão socialmente responsável pode incorrer no risco de prejudicar a si mesma.
(CONRADO *et al.*, 2012 p. 346)

RESUMO

Este trabalho desenvolveu um modelo de simulação baseada em agentes que procurou alinhavar as discussões sobre a tragédia dos comuns, a lógica da ação coletiva, identidade social e instituições desenvolvidas pelos grupos sociais. O foco principal foram os grupos pequenos que supostamente dispensam ações externas na promoção de sua coordenação para a obtenção de objetivos coletivos, no caso desse modelo: a preservação e a perpetuação dos recursos naturais escassos de uso comum. Para tanto, foi utilizado como referência o modelo denominado *Sugarscape*, proposto por Epstein e Axtell (1996). De maneira complementar, foi utilizado o modelo de Akerlof e Kraton (2000) de identidade social, procurando suportar as regras de comportamento dos indivíduos. Os resultados das simulações promovidas revelaram que a exaustão extrema do ambiente e consequente extinção do grupo que dele depende são facilmente observadas em várias circunstâncias, porém, nos pequenos grupos, a autocoordenação, por meio do desenvolvimento de instituições fortes e atuantes, pode afastar o trágico desfecho de degradação total. Complementarmente, foi verificado que a identidade influencia o comportamento dos indivíduos, determinando as estruturas sociais emergentes.

Palavras-chave: Tragédia dos comuns. Identidade social. Instituições sociais. Simulação baseada em agentes.

ABSTRACT

That paper developed an agent-based simulation model to support discussions about the tragedy of the commons, the logic of collective action, social identity and social institutions developed by groups. The focus in small groups that were supposed to dispense external actions in promoting coordination for the achievement of collective goals, in this case: the preservation and perpetuation of scarce natural resources for common use. For that, the model called Sugarscape, proposed by Epstein and Axtell (1996) was used as reference. In a complementary way was used the social identity model of Akerlof and Kraton (2000) seeking withstand the rules of individuals' behavior. The results of simulations revealed that the extreme exhaustion of the environment and the consequent extinction of the group that depends on it is easily observed in various circumstances, but in small groups self-coordination through the development of strong and active institutions can fend off the tragic outcome of total disrepair. Additionally it was found that the identity influences the behavior of individuals determining emerging social structures.

Key-words: Tragedy of the commons. Social identity. Social institutions. Agent-based simulation.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 – Correspondência entre os modelos de referência e modelo proposto 51

QUADRO 02 – Parâmetros básicos usados na inicialização da simulação 54

QUADRO 03 – Lista de variáveis do modelo decisório e suas descrições 57

QUADRO 04 – Parâmetros ligados ao modelo decisório usados na inicialização da simulação 59

QUADRO 05 – Valores de parâmetros fixados durante as simulações 65

QUADRO 06 – Intervalos de variação dos parâmetros não fixados durante as simulações .. 68

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Modelo de estruturação de grupos e resultados esperados segundo a tragédia dos comuns 31

FIGURA 02 –Modelo de estruturação de grupos e resultados esperados segundo a lógica da ação coletiva 35

FIGURA 03 – Instituições como meio para que os grupos se estruturem 39

FIGURA 04 – Identidade como suporte à formação dos grupos e desenvolvimento das instituições 41

FIGURA 05 – Abordagem interativa para execução do projeto 45

FIGURA 06 – Vizinhança de Von Neumann e vizinhança de Moore 49

FIGURA 07 – Processo de inicialização da simulação..... 60

FIGURA 08 – Processo de execução da simulação..... 62

FIGURA 09 – Cálculo de escassez do ambiente..... 67

FIGURA 10 – Avaliação quanto ao número de sobreviventes da categoria 1 e 2..... 69

FIGURA 11 – Avaliação quanto ao número de sobreviventes da categoria 1 relativo e total 71

FIGURA 12 – Configuração dos cenários criados e analisados de 01 a 24.....74

FIGURA 13 – Configuração dos cenários criados e analisados de 25 a 48.....75

FIGURA 14 – Resultados das simulações dos cenários 01, 02, 17, 18, 33 e 34..... 76

FIGURA 15 – Resultados das simulações dos cenários 03, 04, 19, 20, 35 e 36 77

FIGURA 16 – Resultados das simulações dos cenários 05, 06, 21, 22, 37 e 38 78

FIGURA 17 – Resultados das simulações dos cenários 07, 08, 23, 24, 39 e 40 79

FIGURA 18 – Resultados das simulações dos cenários 09, 10, 25, 26, 41 e 42..... 80

FIGURA 19 – Resultados das simulações dos cenários 11, 12, 27, 28, 43 e 44 81

FIGURA 20 – Resultados das simulações dos cenários 13, 14, 29, 30, 45 e 46 82

FIGURA 21 – Resultados das simulações dos cenários 15, 16, 31, 32, 47 e 48 83

FIGURA 22 – Configuração dos cenários criados e analisados de 49 a 54 86

FIGURA 23 – Primeira comparação entre cenários com 100% de indivíduos da categoria 2 87

FIGURA 24 – Segunda comparação entre cenários com 100% de indivíduos da categoria 2 88

FIGURA 25 – Configuração dos cenários criados e analisados de 55 a 66 89

FIGURA 26 – Primeira comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2 90

FIGURA 27 – Segunda comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2 91

FIGURA 28 – Terceira comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2 92

FIGURA 29 – Quarta comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2 93

FIGURA 30 – Cenários escolhidos para o detalhamento das análises do modelo de identidade 94

FIGURA 31 – Análise detalhada do modelo de identidade do cenário 22 95

FIGURA 32 – Análise detalhada do modelo de identidade do cenário 22 96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 VISÃO GERAL SOBRE SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES 17

2.1 Conceituação de simulação computacional e modelagem 17

2.2 Uso das nomenclaturas nos campos 20

2.3 Conceituação de simulação baseada em agentes 21

2.4 Conceituação de agente e ambiente artificiais 23

2.5 Algumas aplicações de SBA 25

3 CONCEITOS ESTUDADOS E MODELADOS 29

3.1 Tragédia dos comuns 29

3.2 A lógica da ação coletiva 32

3.3 Regras institucionais na coordenação de grupos 36

3.4 O modelo de Akerlof e Kraton sobre identidade e comportamento de grupo 39

4 METODOLOGIA 44

5 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SBA 48

5.1 O modelo de SBA de referência – *Sugarscape* 48

5.2 Nomenclatura utilizada e correlações entre os modelos 50

5.3 Parâmetros básicos do modelo 52

5.4 Modelo decisório para adoção de comportamento..... 55

5.5 Parâmetros ligados ao modelo decisório..... 58

5.6 Processo de iniciação da simulação..... 60

5.7 Processo de execução do modelo 61

6 EXECUÇÃO DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS 64

6.1 Pressupostos assumidos 64

6.2 Análises preliminares 68

6.3 Análises de cenários 73

6.4 Análises de comportamento 85

6.5 Sumarização dos resultados obtidos 97

7 CONCLUSÕES 101

8 LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS 105

8.1 Limitações 105

8.2 Pesquisas futuras 106

REFERÊNCIAS 108

ANEXO A – TELA DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO 115

ANEXO B – CÓDIGO FONTE DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO 117

ANEXO C – TABELA COM VALORES SIMULADOS DURANTE AS ANÁLISES PRELIMINARES 124

1 INTRODUÇÃO

A tragédia dos comuns e a lógica da ação coletiva são conceitos utilizados em modelos que tratam do modo como bens ou recursos comuns são explorados. Tais modelos enfocam muitos dos problemas enfrentados por grupos sociais quando tentam alcançar benefícios coletivos. Quando um indivíduo não pode ser excluído dos benefícios que o grupo procura conquistar, ele se torna geralmente motivado a não contribuir no esforço coletivo necessário para o logro dos objetivos comuns e pode querer se aproveitar dos esforços dos outros. Se todos os participantes optarem por se aproveitar dos demais, não se produz o bem comum. Mesmo quando alguns cooperam, enquanto outros não, normalmente se obtém um benefício coletivo, porém menor que o ótimo (OLSON, 1971).

A premissa de que cada membro do grupo age por seu próprio interesse e, dessa forma, tende a agir em favor de seus interesses grupais pela mesma lógica, não é verdadeira. Não é certo que, somente porque todos os indivíduos de um determinado grupo ganham ao atingirem seu objetivo grupal, eles agem para atingir tal objetivo, mesmo que todos eles sejam pessoas racionais e focadas nos próprios interesses (OSTROM, 2011).

A tragédia dos comuns em específico, modelo proposto por Hardin (1968), simboliza a degradação do ambiente que pode sempre ser esperada quando muitos indivíduos se utilizam simultaneamente de um recurso comum escasso. Cada homem se encontra envolvido em um sistema que o compele a aumentar seu ganho sem nenhum limite, em um mundo que é limitado. Não haveria razões para se esperar que uma ordem espontânea promovesse o funcionamento de forma harmônica da sociedade, fazendo com que uma força externa tenha que desempenhar o papel de estabelecer as regras e controlar os indivíduos quanto ao seu cumprimento (NORTH, 1991).

Para se evitar a tragédia dos comuns, as áreas poderiam ser privatizadas, considerando que, sob o domínio privado, o acesso e as formas de uso seriam rigorosamente controlados pelos interessados. Outra opção para se evitar a catástrofe desenhada pela tragédia dos comuns seria o Estado tornar-se o administrador oficial e determinador das regras de uso. As duas soluções garantiriam os objetivos comuns, nesse caso ligados à disponibilidade dos recursos naturais que é colocada em risco sob o domínio comunitário (HARDIN, 1968).

Como alternativa, outra corrente de autores acredita que, se os grupos sociais são pequenos, pode ocorrer alguma ação individual a favor do logro dos objetivos comuns do grupo

(OLSON, 1971). A maior eficiência dos grupos pequenos fica evidente tanto pela experiência e pela observação quanto pela teoria. Em alguns grupos pequenos, pelo menos um membro achará que seu ganho pessoal, ao obter o benefício coletivo, excede o custo total de obtê-lo de forma individual (OSTROM, 2011).

A sociedade elabora suas regras, ou seja, suas instituições, visando a promover a cooperação e a reduzir conflitos de forma a aumentar a coordenação entre as atividades econômicas e reduzir os desperdícios. Essas instituições também capacitam os indivíduos a realizar em conjunto aquilo que eles não conseguiriam fazer sozinhos e restringem as formas pelas quais tais indivíduos poderiam atuar conjuntamente (FIANI, 2011).

A identidade social parece suportar as instituições constituídas, dada a categorização que ela promove. Um indivíduo com a percepção de unidade com seu grupo se comporta e age congruentemente com os demais. A coesão do grupo, seus comportamentos e atitudes congruentes com a identidade ganham força em grupos menores (ASHFORTH; MAEL, 1989). Os indivíduos, nos grupos menores, tendem a reforçar suas similitudes e identidade social, tendo em vista a maior convivência e influência causada pela proximidade (HINKLE *et al*., 1989). Assim sendo, a identidade social parece alinhada com a proposta de Ostrom (2011) sobre a capacidade de organização e autocoordenação de grupos pequenos.

Muitos estudos relacionados a tais conceitos estão sendo desenvolvidos ao redor do mundo, utilizando-se dos mais variados métodos de pesquisa para estabelecer modelos e determinar padrões (OSTROM, 2011). Em especial, a simulação baseada em agentes pode ser um método viável para o estudo e a comparação desses modelos. Normalmente, esse método é utilizado para se verificar associações entre variáveis ligadas a comportamentos individuais que possibilitam o entendimento de elementos complexos de difícil representação dos grupos sociais que emergem desses comportamentos, tais como comunicação, interação entre indivíduos e cooperação (EPSTEIN; AXTELL, 1996; SAKURADA; MIYAKE, 2009).

A proposta deste trabalho é desenvolver um modelo, por meio de simulação baseada em agentes, fundamentado nos modelos da tragédia dos comuns (HARDIN, 1968) e da lógica da ação coletiva (OLSON, 1971), introduzindo os pressupostos e as discussões apresentadas por Ostrom (2011) sobre a autocoordenação entre os indivíduos de grupos sociais pequenos, com suas identidades e instituições, que possuem objetivos coletivos ligados à preservação dos recursos de uso comum. Algumas regras de comportamento serão configuradas no ambiente e nos agentes artificiais modelados, representando assim aspectos ligados à identidade social (ASHFORTH; MAEL, 1989) e às instituições (FIANI, 2011) que organizam as interações sociais, visando à ação coletiva do grupo em torno de um objetivo comum.

Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa é verificar, com o uso de simulação baseada em agentes, quais são os parâmetros e os valores combinados que fazem emergir comportamentos coordenados que afastam a ação coletiva da tragédia dos comuns, uma vez que o comportamento de autocoordenação dos grupos pequenos para logro de objetivos comuns na exploração de bens ou recursos limitados é possível, como preconizado pela teoria existente.

Complementando o objetivo geral, estão listados a seguir os objetivos específicos da pesquisa:

a) Verificar em que condições, tanto em termos sociais como ambientais, a tragédia dos comuns ocorre;
b) Verificar se a efetividade das sanções, em caso de não alinhamento às regras institucionais estabelecidas para preservação dos recursos comuns, influencia a estrutura social emergente e afasta os pequenos grupos do risco da tragédia dos comuns;
c) Verificar como o comportamento individual baseado na identidade pode influenciar a estrutura social emergente e o equilíbrio entre os pequenos grupos e o ambiente do qual esses são dependentes para a sobrevivência.

Para o alcance de tais objetivos, este trabalho deverá responder a seguinte pergunta de pesquisa: “A capacidade de autocoordenação dos grupos pequenos dependentes de recursos limitados de uso comum é influenciada pela identidade social e as instituições que tais grupos desenvolvem?”.

Pretende-se contribuir com o aprofundamento da discussão sobre a tragédia dos comuns, a lógica da ação coletiva e a importância das instituições sociais formadas pelos pequenos grupos para o logro de seus objetivos comuns de preservação na exploração de recursos ambientais limitados dos quais são fortemente dependentes. Pretende-se também inserir a psicologia e a sociologia da identidade na discussão sobre a autocoordenação desses pequenos grupos. Finalmente, pretende-se criar um ambiente artificial capaz de proporcionar, por meio da alteração de diversos parâmetros a serem estudados, a simulação computacional da emergência de estruturas sociais que reproduzem a tragédia dos comuns e a capacidade de autocoordenação dos grupos que são alvo dessa pesquisa, articulando todos os conceitos anteriormente apresentados.

O trabalho conta com uma revisão de literatura sobre simulação baseada em agentes e sobre as teorias referentes à tragédia dos comuns, à lógica da ação coletiva, instituições e identidade social, assim como uma discussão sobre a metodologia empregada no projeto. Conta

também com a definição e a estruturação do modelo proposto para o desenvolvimento do trabalho, os resultados das simulações realizadas, as análises e as conclusões obtidas.

2 VISÃO GERAL SOBRE SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES

Neste capítulo é apresentada uma visão geral sobre simulação computacional, especificamente SBA (Simulação Baseada em Agentes), algumas aplicações e estudos desenvolvidos nos campos das ciências sociais e administração, bem como uma discussão sobre nomenclaturas utilizadas por diversos campos da ciência e conceituações importantes, como a de agente e de ambiente artificiais.

2.1 Conceituação de simulação computacional e modelagem

A simulação, de uma forma geral, é uma técnica aplicada para se entender o comportamento de sistemas existentes, visando à avaliação de possíveis efeitos causados por alterações em regras de processo ou por mudanças em sua configuração física (EPSTEIN; AXTELL, 1996; FIORETTI, 2012). A modelagem de simulação fornece uma metodologia poderosa para o avanço da teoria e da pesquisa sobre comportamentos e sistemas complexos (HARRISON; CARROLL; CARLEY, 2007; NOWAK, RYCHWALSKA e BORKOWSKI, 2013). O avanço da simulação computacional e da infraestrutura necessária para sua viabilização permitiu o progresso das pesquisas sobre simulação em diversas áreas, incluindo as ciências sociais, havendo atualmente diversos trabalhos científicos publicados que tratam de simulação e do estudo de comportamentos sociais (BONABEAU, 2002).

Os computadores foram originalmente concebidos como máquinas para realizar cálculos, por isso eles foram muito usados para a implementação de modelos de simulação numérica. Sua utilização para diferentes tipos de simulações ganhou força somente nas últimas décadas. E, nesse caso, áreas como a arquitetura, como exemplo de aplicação profissional, passaram a utilizar computadores para simular a aparência futura dos edifícios (FIORETTI, 2012).

Desde a década de 1960 a simulação em computadores já era entendida como uma abordagem legítima para o estudo das organizações. A ciência da organização (*organization science*) foi uma das primeiras disciplinas das ciências sociais a utilizar e a se beneficiar da simulação computacional. Após isso, tal abordagem entrou em um longo período de descrédito,

sendo tolerada, mas nunca completamente aceita sem ceticismo. Um dos problemas parece ser a simulação computacional ter sido moldada mais por entusiasmo para os avanços na tecnologia do computador do que pelo progresso nas teorias das ciências sociais (FIORETTI, 2012).

Além da simulação computacional, existe uma gama de maneiras para se desenvolver reproduções em pequena escala de edifícios e de túneis de vento utilizados na indústria automotiva ou aérea, ou para o cálculo preliminar de impostos, entre outros (FIORETTI, 2012). A simulação pode ser entendida como geradora de *insights* sobre o comportamento de coisas reais. Assim, a arquitetura, dando continuidade ao exemplo anteriormente discutido, pode simular complementarmente o impacto visual de prédios que ainda não existem, a engenharia pode analisar a penetração do ar nos túneis de vento e a contabilidade pode simular os cálculos de impostos futuros, e assim por diante.

Para a realização de uma simulação, é necessário que modelos sejam desenvolvidos. Segundo Epstein (2008), um modelo, de uma forma geral, é uma representação do comportamento e das interações de entidades quando sujeitas à determinada situação. Qualquer pessoa que realize uma projeção, ou imagina como se desenrolaria uma dinâmica social, também está concebendo um modelo, nesse caso social. Tais modelos estão sempre presentes na ciência. A formalização de uma teoria em um modelo permite ao pesquisador descrever suas ideias de uma forma precisa e inequívoca. Ainda segundo o autor, há diversas razões para se modelar, entre elas: entender e explicar acontecimentos; coletar e armazenar dados; identificar o centro das dinâmicas; sugerir analogias; estimular novos questionamentos; promover o hábito científico; identificar incertezas; demonstrar prioridades e sugerir melhorias; desafiar a robustez de uma teoria; e revelar que o que é aparentemente simples pode ser bem complexo.

Fioretti (2012), por sua vez, propõe que os modelos sejam representações simplificadas de partes da realidade que são capazes de capturar algumas das suas propriedades essenciais. Chwif e Medina (2010) afirmam que os modelos podem ainda ser entendidos como uma abstração da realidade que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real. Permitem, dessa forma, capturar com mais fidelidade características complexas dos sistemas reais, tais como sua natureza dinâmica, com mudanças de estado ao longo do tempo, e aleatoriedades típicas dos sistemas complexos.

Para Pidd (1998, p. 25), “um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade”. Envolve a percepção de um conjunto de considerações que formam um arranjo mental proposto por alguém para conceber uma parte da realidade a ser estudada e compreendida. Ford (2010) complementa a discussão, afirmando que um modelo

não substitui um sistema real, mas mantém a representação de alguns de seus aspectos e características.

Este trabalho segue de maneira mais aderente as definições propostas por Fioretti (2012) e Pidd (1998), uma vez que o modelo de SBA proposto neste estudo recorta parte da realidade identificada pelas pesquisas e teorias analisadas, representando tal realidade de maneira abstrata e simplificada para o estudo de alguns aspectos ligados ao comportamento social, à ação coletiva e à utilização de recursos comuns.

Nesse sentido, este trabalho tem como foco principal de discussão os modelos de simulação computacional, especificamente os de SBA. Carley (2009) apresenta uma série de razões para o uso de modelos computacionais, a saber:

a) Ética: algumas políticas não podem ser empregadas em populações reais, mas podem ser aplicadas em populações simuladas;
b) Preparação: os modelos podem ser utilizados para examinar uma ampla gama de cenários, permitindo que uma hipótese idealizada possa ser sistematizada;
c) Economia de custos: a criação de novas tecnologias, de procedimentos e de legislação para a coleta de dados costuma ser dispendiosa. Com o uso de modelagem computacional, é possível a realização de pré-testes antes de suas aquisições, evitando retrabalhos ou investimentos desnecessários;
d) Maior rapidez: a avaliação dos sistemas reais existentes é muito demorada, no entanto, a avaliação de uma simulação pode ser acelerada, permitindo um rápido desenvolvimento e teste de alternativas;
e) Adequação: a realidade, muitas vezes, se comporta como um sistema dinâmico complexo. A simulação computacional possibilita a representação dessa complexidade, promovendo previsões e avaliações mais precisas;
f) Flexibilidade: resposta a situações novas requer avaliação rápida de alternativas. Isso pode ser realizado em uma estrutura computacional de maneira rápida e efetiva;
g) Controle: durante o desenvolvimento de novos métodos de análise de sistemas sociais, os modelos computacionais podem proporcionar um ambiente controlado para a experimentação.

Construir um modelo de simulação envolve a identificação dos processos principais do comportamento a serem estudados de um agente (ou de um sistema organizacional) e a formalização de equações matemáticas ou de conjuntos de regras computacionais. Uma simulação de computador, de uma forma geral, inicia com um modelo de comportamento de algum sistema que se pretende investigar. O modelo consiste em um conjunto de equações ou

de regras de transformação para os processos com variáveis que mudam seu comportamento ao longo do tempo. O modelo é então traduzido em código de computador e o programa resultante é executado durante vários períodos de tempo (ciclos da simulação) para produzir os resultados desejados de serem analisados (HARRISON; CARROLL; CARLEY, 2007).

Para Buede (2009), qualquer processo de construção de modelo pode obter o modelo "errado", em maior ou menor grau, devido a erros teóricos na sua construção. Além disso, cada modelo necessita de dados de algum tipo, sejam eles obtidos por meio de experimentos, pesquisas ou pareceres de peritos. O processo de coleta de dados está cheio de fontes de erro. Em seu trabalho, Buede (2009) sugere que os modelos mais simples têm uma variação maior na sua predição de um resultado do que os modelos mais realistas. Ainda assim, modelos mais realistas, segundo o autor, têm probabilidade de erro.

Além disso, Rapoport (1984) afirma que a variabilidade dos ganhos no uso e aplicação de modelos computacionais aumenta com a sua complexidade. Quanto mais alta a complexidade, maiores são as possibilidades disponíveis de interpretações alternativas para a tarefa ou maior a gama de objetivos, normas e motivações envolvidas em suas operações. Quando o foco recai nas diferenças individuais ou do grupo, não há um critério para determinar o quão elas são grandes ou pequenas. A alternativa é construir modelos que contemplem tais diferenças e suas variabilidades possíveis, testando-se tais modelos e realizando comparações.

2.2 Uso das nomenclaturas nos campos

Neste trabalho é usada a nomenclatura Simulação Baseada em Agentes ou seu acrônimo SBA, porém outros termos alternativos, segundo Smith, Goodchild e Longley (2007), podem ser encontrados na literatura para as diferentes ramificações de sua aplicação, dentre os quais podem ser citados como exemplos: *Agent-Based Modelling* (ABM), *Agent-Based Computation Modelling* (ABCM), *Agent-Based Social Simulation* (ABSS), *Agent-Based Computation Simulation* (ABCS), *Individual-Based Modelling* (IBM) e *Agent-Based Simulation and Modelling* (ABSM).

A SBA social está basicamente interessada na modelagem do comportamento humano e na tomada de decisão individual. Esse interesse gera a necessidade de se representar interações sociais, comportamento de grupo, colaboração e estruturas sociais complexas, demandando

linguagens especializadas e pacotes para modelagem (EPSTEIN; AXTELL, 1996; SAMUELSON; MACAL, 2006).

O termo *Multi-Agent Systems* (MAS) é usado algumas vezes como sinônimo de *Agent-Based Simulation* (ABS), ou em português, Simulação Baseada em Agentes (SBA). O campo de MAS normalmente está relacionado à área de Inteligência Artificial e é usado mais frequentemente fora do campo das ciências sociais, por exemplo, em ciência da computação, para o desenvolvimento de softwares orientados a agentes (MACAL; NORTH, 2005).

2.3 Conceituação de simulação baseada em agentes

A SBA é caracterizada pela existência de muitos agentes interagindo uns com os outros, cada um com certa ou total autonomia, permitindo a análise de fenômenos das sociedades modernas (UHRMACHER, 1996). Estruturas sociais fundamentais e comportamento de grupos emergem da interação de indivíduos, operando em ambientes artificiais sob regras que colocam demandas limitadas, como características dos agentes e da capacidade computacional. Essa abordagem apresenta a sociedade artificial como um laboratório do qual emergem estruturas sociais em um computador, sendo possível a observação de como os agentes individuais (pessoas, bactérias, insetos, nações ou organizações) interagem entre si e com seu ambiente. A SBA é usada para se verificar propriedades emergentes de um sistema e, assim, permitir o entendimento de um processo dinâmico, o que seria muito difícil de modelar com técnicas matemáticas convencionais. Em geral esses experimentos são formados por três itens básicos: agentes, ambiente ou espaço físico e regras de comportamento (EPSTEIN; AXTELL, 1996).

Uma simulação de sociedade possui um conjunto de características, incluindo natureza formal, motivação científica na resposta de questões de pesquisa e caráter experimental. São modelos formais expressos por linguagem computacional e, como tal, são suscetíveis a considerações, regras e desafios comumente encontrados nos domínios da modelagem matemática nas ciências sociais (dinâmica de sistemas, teoria dos jogos, etc.), mas com necessidades adicionais por tratar-se de simulação (CIOFFI-REVILLA, 2010).

Modelos de organizações sociais e econômicas baseados na interação entre os agentes e ambiente artificiais são cada vez mais comuns dando força a modelos de simulação como a SBA (CARLEY, 2009; HARRISON; CARROLL; CARLEY, 2007). A SBA, em específico, pode proporcionar o estudo de comportamentos existentes nas relações humanas que seriam

muito difíceis ou impossíveis de serem realizados com outros métodos, dadas as dificuldades de se realizar tais tipos de experiências em laboratório (EPSTEIN; AXTELL, 1996; GOTTS; POLHILL; LAW, 2003). Trata-se de um método viável para o estudo e a comparação de modelos e configurações ligados ao comportamento de sistemas existentes, visando à avaliação de possíveis efeitos por alterações em regras de processo ou mudanças em suas configurações físicas (EPSTEIN; AXTELL, 1996).

Os modelos de SBA permitem a verificação do imprevisível, uma vez que os seus resultados podem ser contraditórios e impossíveis de se inferir utilizando a modelagem linear e direta. Isso é devido à emergência, ou seja, às regras estabelecidas no nível micro resultam em padrões imprevisíveis de comportamento no nível macro do sistema modelado (NOWAK; RYCHWALSKA; BORKOWSKI, 2013).

Os modelos de SBA também são eficientes quando é preciso partir de vários pressupostos teóricos simultaneamente, especialmente quando as relações entre os elementos do modelo muitas vezes não podem ser representadas por métodos analíticos tradicionais. Ao mesmo tempo, são de longe mais interativos que os modelos matemáticos. Eles fornecem um ambiente para desenvolver, testar e articular proposições teóricas com maior flexibilidade (NOWAK; RYCHWALSKA; BORKOWSKI, 2013) e não necessitam de todas as técnicas estatísticas convencionais para relacionar o modelo à realidade (EDMONDS, 2001).

Modelos de SBA podem ainda reproduzir as interações entre os membros de uma organização ou entre diferentes organizações em um ambiente artificial onde os agentes tomam decisões e podem se comunicar uns com os outros. Isso se dá devido à capacidade da SBA de representar entidades com comportamento individual, descentralizado e autônomo, possuindo elementos complexos de difícil representação, tais como comunicação, interação entre indivíduos e cooperação (SAKURADA; MIYAKE, 2009). Para Gilbert (2008), a SBA é particularmente apropriada para a realização de estudos nos quais o importante é o entendimento de processos e suas consequências.

Uma questão crucial para as pesquisas sobre a organização é: “quais são as características de um projeto de pesquisa que o tornam adequado para modelagem baseada em agentes? Como pode um pesquisador entender se a modelagem baseada em agentes contribui para a sua investigação?” (FIORETTI, 2012, p. 233). Para um exame minucioso sobre essas questões, Fioretti (2012) propõe três características predominantes em modelos de SBA para o estudo das organizações: os pesquisadores não podem ignorar a estrutura de interações entre os agentes e seus efeitos de acoplamento; os pesquisadores normalmente estão interessados no comportamento geral decorrente das interações entre os agentes com uma abordagem que é

claramente *bottom-up* (chamada também de emergente); e os pesquisadores se concentram em dinâmicas fora do equilíbrio, em que as reestruturações organizacionais são consideradas interessantes precisamente porque podem perturbar equilíbrios existentes.

Não necessariamente as características acima são atendidas por temas de pesquisa que envolvem um grande número de agentes interagindo, mesmo sendo citadas como condição geral para o uso de SBA. Para Fioretti (2012), a definição de SBA seria que, se as relações são complexas e a estrutura é importante, se a perspectiva *bottom-up* é procurada e equilíbrio não é uma preocupação (podendo ocorrer ou não), então os modelos de SBA são viáveis como ferramentas de pesquisa disponíveis para os estudos organizacionais.

2.4 Conceituação de agente e ambiente artificiais

Agentes são os indivíduos da sociedade artificial. Podem agir de maneira deliberativa, puramente reativa ou, ainda, da forma combinada de ambas as possibilidades. Suas características principais dizem respeito ao grau de autonomia, já que os agentes não devem carecer de qualquer intervenção ou guia no decorrer do progresso de suas ações (SHOHAM, 1993). Cada agente possui dois atributos: estados e regras de comportamento. Alguns estados são fixos ao longo da vida do agente, enquanto outros são modificados durante as interações que ocorrem com os demais agentes e com o ambiente ao longo do tempo. Os movimentos (mudanças de posição), interações e mudanças de estado são determinadas pelas regras de comportamento embutidas nos agentes e no ambiente (EPSTEIN; AXTELL, 1996).

Macal e North (2005) apresentam agentes como sendo entidades que possuem algumas características comuns. Normalmente são indivíduos identificáveis (como se possuíssem um número de identificação) e que carregam um conjunto de características e regras que governam seu comportamento. Possuem capacidade de tomada de decisão, são capazes de interagir com outros agentes, possuem protocolos de interação (comunicação, troca, reprodução etc.) e capacidade de responder aos estímulos do ambiente. Os autores ainda destacam nos agentes o direcionamento para o alcance de um objetivo, autonomia, pró-atividade, flexibilidade e habilidade para aprender e adaptar-se ao longo do tempo com base em experiências obtidas, dada a configuração de certas regras de comportamento passíveis de serem modificadas por regras adicionais.

A capacidade de adaptação é um dos aspectos essenciais do mecanismo de raciocínio social de um agente, pois as relações de dependência permitem a um agente saber quais objetivos são possíveis de alcance e quais planos são factíveis a qualquer momento. Como resultado, um agente pode usar seu mecanismo de raciocínio social para encontrar dinamicamente um objetivo para perseguir e um plano para alcançar, analisando se cada habilidade necessária para a realização de tais planos e objetivos está disponível na sociedade. O modelo de formação de coalizão introduz a noção de situação de dependência que permite a um agente avaliar a propensão de outro compartilhar seus objetivos. Assim, cada agente pode escolher de forma mais efetiva suas parcerias, já que nem todos os agentes podem estar suscetíveis à adoção dos objetivos uns dos outros (SICHMAN, 1998).

Para ampliar os limites de entendimento sobre agentes, podem-se tomar os insetos sociais (formigas e abelhas, por exemplo) que são capazes de solucionar problemas coletivos e complexos, apesar de serem organismos simples. As sociedades de insetos são alvo de interesse dos estudos sobre SBA por sua similaridade, em termos estruturais, às sociedades humanas. A inteligência dessas sociedades está na rede de interações entre os indivíduos e entre estes e o ambiente onde estão inseridos. Assim como no caso dos insetos, os agentes artificiais atuam por meio de regras simples em um ambiente, nesse caso artificial, apresentando certos comportamentos coletivos na procura por soluções para complexos problemas organizacionais (BULLINGTON, 2009). Esses tipos de insetos também conduzem interações sociais de nível individual e estas podem prover alguns *insights* para as pesquisas em SBA.

O que atrai as pessoas a iniciar uma relação com outras, segundo Bullington (2009), pode ser explicado por meio de três variáveis que determinam a atração: proximidade, atração física e similaridade. Em regras simples de comportamento, é possível estabelecer, em uma SBA, réplicas dessas três variáveis que determinam a atração.

O local onde os agentes estão dispostos, operam e interagem é denominado ambiente ou espaço artificial. O ambiente também possui regras que influenciam a maneira como os agentes irão se movimentar, operar e interagir. Para a emergência de uma sociedade artificial, é necessária a liberação de um estado inicial para tal sociedade, *setup* do ambiente, com uma população inicial de agentes (QUEIROZ, 2010). As interações ocorrem segundo as regras existentes de comportamento dos agentes e do espaço. Assim, é possível se observar a reorganização da sociedade macroscopicamente. Seres humanos podem estar conectados de várias maneiras, entre elas estão as ligações genealógicas, culturais e econômicas, formando complexas, conflituosas e interessantes comunidades ou redes sociais que se transformam constantemente (EPSTEIN; AXTELL, 1996).

2.5 Algumas aplicações de SBA

Várias são as aplicações para a simulação baseada em agentes, em diversos campos da ciência. A seguir, serão apresentadas algumas dessas aplicações em estudos nos campos das ciências sociais, administração, economia, entre outros. Tais estudos demonstram a utilidade e a flexibilidade da SBA como método de pesquisa.

A SBA permite, por exemplo, a implantação do modelo de racionalidade limitada, proposta por Simon (1991), já que os agentes modelados normalmente não possuem informação global e não têm infinito poder computacional. Nesses casos, o agente utiliza-se de regras simples, baseadas em informação local, para se relacionar e sobreviver, permitindo a constatação do resultado macroscópico ao longo do tempo. Em modelos de simulação tradicionais sobre relações humanas, os agentes são oniscientes ou têm capacidade de comunicação e processamento de informações perfeitas, não plausíveis nos contextos reais (EPSTEIN, 1999). Nongaillard e Mathieu (2013) propuseram, por meio de um modelo de SBA, a sociabilidade como critério mais adequado para a realização de ligações sociais, uma vez que a racionalidade limitada dos indivíduos não permite a realização de ligações socialmente ideais que são típicas dos modelos de simulação tradicionais. Os autores, dessa forma, puderam verificar uma maior aderência de seu modelo sobre relações humanas para aplicação em contextos reais.

A diferença entre a sociedade artificial e os modelos matemáticos tradicionais é o fato de que estes criam subgrupos ou subpopulações para um determinado estudo de uma população que possui características homogêneas dos indivíduos, enquanto nas sociedades artificiais podem ser assumidas distribuições heterogêneas de espaço para os agentes e cada um deles pode ter suas próprias peculiaridades genéticas e culturais. Com a passagem do tempo, em uma sociedade artificial, pressões de seleção ocorrem no sentido de alterar a distribuição e o perfil da população resultante (EPSTEIN; AXTELL, 1996).

Muitos modelos foram construídos em simulação com agentes possuidores de capacidade computacional ilimitada, aderentes à teoria econômica neoclássica. Um ponto a ser questionado nesses modelos é o altruísmo, isto é, pessoas ajudam outras ao seu redor sem ter como troca recompensas materiais. Grupos podem se empenhar para promover os interesses comuns de seus membros via formação de cartéis e alianças. Nesse caso, há uma tendência sistemática dos membros desses grupos de contribuir um pouco para o bem comum. Alguns podem contribuir mais que outros e alguns grupos podem se valer de coerção e incentivos para

obrigar ou persuadir seus membros a contribuir. Nesse sentido, a SBA pode proporcionar o avanço no estudo de comportamentos existentes nas relações humanas que não podem ser explicados por meio do uso da teoria econômica neoclássica (GOTTS; POLHILL; LAW, 2003).

Normalmente, modelos de SBA constroem um ambiente artificial onde os tomadores de decisão se encontram eventualmente e repetem certas interações ao longo do tempo, constituindo um tipo de processo de decisão coletiva. São ferramentas ideais para experimentos conceituais, pois, normalmente, os pesquisadores os utilizam para lidar com hipóteses e explorar possibilidades. Por exemplo, pode-se dotar os agentes dos mundos artificiais com capacidades cognitivas cada vez mais sofisticadas e observar as consequências em todo o sistema. Tais modelos reproduzem interações altamente sofisticadas entre os tomadores de decisão, de modo que cada modelo tende a ser bastante idiossincrático nos seus pressupostos e em sua aplicabilidade (FIORETTI, 2012).

Morano e Moraes (2013), utilizando um modelo de SBA, realizaram um estudo sobre mercados em que as alianças entre empresas para complementação de competências e habilidades são fundamentais para a exploração de novas oportunidades. Tais empresas, diante de oportunidades de mercado que requerem alianças estratégicas, podem cooperar ou não com as demais, de acordo com suas condutas passadas e regras que determinam seus perfis de conduta estratégica. O modelo, baseado no ambiente de açúcar (*Sugarscape*, em inglês, modelo que será detalhado no decorrer do trabalho) e idealizado por Epstein e Axtell (1996), verificou que a emergência da cooperação pode ocorrer, mas depende do quão acirrada é a competição, em termos de empresas existentes inicialmente no mercado, e da diversidade de empresas, em termos de suas estruturas internas de custos.

Centola, Willer e Macy (2005), baseados na fábula "A Roupa Nova do Rei" (em inglês, "*The Emperor´s New Clothes*") de Hans Christian Andersen, apresentam o uso de um modelo computacional baseado em agentes, denominado o dilema do imperador. No modelo, os agentes devem decidir se obedecem e fazem cumprir uma norma que é suportada por poucos fanáticos, opondo-se à grande maioria, ou se discordam e correm o risco de arcar com essa atitude. Os autores concluem que o suporte de autorreforço para uma norma altamente impopular não pode ocorrer em uma rede social totalmente conectada. Entretanto, se os horizontes dos agentes são limitados por seus vizinhos próximos, normas altamente impopulares podem emergir localmente e se espalhar.

A SBA pode ser utilizada como ferramenta para estudo e análise de redes sociais. Originalmente, as análises de redes sociais com modelagem baseada em agentes focavam nas relações entre as entidades com abordagem *top-down*. Isso pode ser verificado no trabalho de

Tichy, Tushman e Fombrum (1979). Mais recentemente, em trabalhos como os de Burk, Steglich e Snijders (2007), as análises passaram a focalizar a dinâmica de formação das redes e sua evolução *bottom-up*. A SBA foca no comportamento dos agentes artificiais, independentemente das relações que estes estabelecem, enquanto a análise de redes sociais incorpora ao comportamento de seus agentes a especificação e a análise das redes de relacionamentos que são estabelecidas (FIORETTI, 2012).

A teoria da decisão dedicou esforços substanciais para a modelagem da tomada de decisão individual. A tomada de decisão organizacional, possuidora de peculiaridades próprias, recebeu menos foco e dedicação. Uma dessas características é que, muitas vezes, as organizações tomam decisões apenas para cumprir com rituais institucionais e não para resolver problemas específicos (DIMAGGIO; POWELL, 1983). Nesse sentido, a SBA foi utilizada por Fioretti e Lomi (2010) para representar o modelo de Cohen, March e Olsen (1972), denominado *The Garbage Can Model* (O Modelo da Lata de Lixo). Tal modelo foi concebido a partir de estudos sobre universidades: formas familiares de anarquia organizadas. Anarquias organizadas, segundo os autores, são organizações caracterizadas pela preferência por determinados tipos de problemas e participação nem sempre efetiva.

Com a SBA, foram confirmadas as três propriedades mais importantes de tomada de decisão organizacional destacadas no trabalho dos autores: i) as decisões são tomadas mais frequentemente para a obtenção de legitimidade do que para resolver problemas específicos; ii) se a hierarquia está estabelecida, os altos executivos se ocupam de ganhar legitimidade para a sua organização, enquanto a linha da organização se preocupa com a resolução de problemas; iii) organizações se deparam com alguns problemas recorrentes e seus colaboradores têm a impressão de enfrentar sempre os mesmos problemas (FIORETTI; LOMI, 2010).

Ainda com relação à exemplificação do uso de SBA nos estudos de organizações, é possível destacar trabalhos sobre *organizational ecologies* (ecologias organizacionais), geralmente focados na densidade populacional. ao longo do tempo. O ambiente, nesses casos, delimita o formato organizacional a ser encontrado. Lomi e Larsen (1996) observaram que a mortalidade organizacional pode ser explicada pela estrutura das interações entre organismos e entre estes e o ambiente. Assim, a viabilidade e o sucesso das organizações dependem das redes de relações que se estabelecem. Carrol, Harrison e McKendrick (2011) também verificaram, por meio de simulação computacional, o estudo do desenvolvimento populacional de organizações, contendo em seu modelo fenômenos da seleção que podem proporcionar variações populacionais ao longo do tempo.

Pan *et al*. (2007) propuseram um modelo de SBA para evacuação de emergência. Os autores afirmam que existem muitos modelos computacionais com essa finalidade, no entanto, devido à escassez de dados sobre o comportamento humano e social nessas situações, essas ferramentas se baseiam em pressupostos que se mostraram muitas vezes inconsistentes ou irreais. O protótipo do sistema desenvolvido foi capaz de demonstrar alguns comportamentos emergentes, como a competitividade, a fila e comportamentos de pastoreio. Por suas características, a SBA foi capaz de propiciar o alcance dos objetivos da pesquisa arquitetada. Já Garcia-Magarino e Gutierrez (2013) apresentam o uso de SBA para o gerenciamento de situações de crise que, assim como no caso de evacuação de emergência, tem sido um problema desafiador em termos de eficiência da comunicação e mitigação de perdas.

Hofstede, Jonker e Verwaart (2012) descrevem um modelo de SBA para a negociação no âmbito das trocas comerciais. Nesse modelo, os agentes seguem estratégias de senso comum, como a maximização do lucro e minimizaçãodos riscos. Porém, o modelo também contempla alguns comportamentos para os agentes tidos como aceitáveis culturalmente.

O comportamento social dos agentes norteado pela cultura pôde ser estudado e compreendido por meio de parâmetros atribuídos aos agentes. Os aspectos culturais contemplados na pesquisa dos autores foram:

a) Coletivismo e individualismo, contemplando a dimensão cultural da afiliação;
b) Hierarquia, medindo a distância e/ou intensidade do poder de cada agente;
c) Agressividade e gênero, relacionado ao domínio assertivo ou à força muscular e pertinente aos papéis emocionais dos dois sexos;
d) Incerteza e verdade, relacionado ao como lidar com a incerteza; e
e) Necessidade de reconhecimento no curto prazo e no longo prazo, já que existem agentes que vivem para o presente (denominados orientados para o curto prazo) e outros para o futuro.

3 CONCEITOS ESTUDADOS E MODELADOS.

Neste capítulo, é realizada uma revisão da literatura sobre os principais conceitos que suportam o modelo computacional desenvolvido neste trabalho. Aborda-se a tragédia dos comuns e os comportamentos humanos baseados na identidade social, as instituições desenvolvidas pelos grupos sociais e a lógica da ação coletiva, como conceitos relacionados a modelos que definem o modo como os grupos sociais agem para alcançar benefícios coletivos, em específico, a preservação de recursos renováveis comuns, necessários para a sobrevivência da coletividade.

3.1 Tragédia dos comuns

A expressão “a tragédia dos comuns” simboliza a degradação do ambiente que pode sempre ser esperada quando muitos indivíduos se utilizam simultaneamente de um recurso escasso. Cada indivíduo se encontra envolvido em um sistema que o compele a aumentar seu ganho sem nenhum limite, em um mundo que é limitado. A ruina é o destino de todos, uma vez que cada um persegue seu próprio interesse em uma sociedade que crê na liberdade de uso e na exploração dos bens comuns (OSTROM, 2011).

Ostrom (2011) comenta que Aristóteles, ainda na Idade Antiga, observou que o que é comum para a maioria é de fato um objeto de menor cuidado de cada um. Todo mundo pensa principalmente em si mesmo e raramente no interesse comum.

A impossibilidade de controlar o uso e/ou exploração de recursos dos demais participantes faz com que, individualmente, cada participante possa atuar de forma racional, esbanjadora ou abusiva. Isso ocorre mesmo se o grupo, como um todo, com essa atitude saia perdendo. Como exemplo, é possível se pensar em um pasto público. Os donos dos animais têm interesse de que o pasto perdure, mas o uso do local é livre e individualmente cada pastor não pode evitar a entrada dos demais. O benefício do uso do pasto por cada animal a mais que se alimenta é exclusivamente do seu dono. Dessa forma, todos os usuários do pasto são levados a alimentar o maior número de animais possível, maximizando suas receitas, até que o pasto acabe (HARDIN, 1968).

O nome em inglês, *Tragedy of the Commons*, foi proposto por Hardin (1968), fazendo menção à impossibilidade de se alterar o curso de acontecimentos já iniciados. Nas tragédias gregas, o fim terrível é antevisto, mas nada pode ser feito para mudá-lo. A questão principal no cerne da discussão é a existência de uma classe de situações que está por trás de grande parte dos problemas ambientais. Para o autor, toda vez que um recurso natural é aberto à competição, seu esgotamento é inevitável. O contraponto a essa situação, em menção ao exemplo do pasto público, é cada pastor cooperar, respeitando o limite natural de pastagem e alocando um rebanho limitado no lugar. Assim todos poderão usufruir o pasto por um tempo indeterminado em uma situação de cooperação mútua (KIRSCHBAUM; IWAI, 2011).

As análises que seguem o modelo da tragédia dos comuns sustentam que cada usuário individual tenderia a intensificar progressivamente o uso dos recursos naturais colocados sob o regime de exploração comum. O indivíduo buscaria maximizar a satisfação das suas próprias necessidades, produzindo um resultado individualmente ótimo e provavelmente ruim ou longe do ótimo para a coletividade que depende do recurso comum. O desfecho seria o colapso dos recursos disponíveis tão logo a exploração realizada por todos os participantes da exploração do bem comum superasse a capacidade de regeneração dos recursos em questão (AZEVEDO; MARTINS; DRUMMOND, 2009). Dessa forma, não haveria razões para se esperar que uma ordem espontânea promovesse o funcionamento econômico de forma harmônica na sociedade. O desdobramento natural dessa discussão é de que uma força externa e centralizadora como o Estado, deveria desempenhar o papel de estabelecer as regras e controlar os indivíduos quanto ao cumprimento delas (NORTH, 1991).

Segundo Kirschbaum e Iwai (2011), a discussão atual entre países para o desenvolvimento de uma política de uso sustentável de recursos naturais também é um caso de dilema da tragédia dos comuns. Ao optarem pela cooperação, os países que aceitarem implementar políticas de emissão controlada de poluentes terão um possível impacto negativo na atividade econômica local. Porém, nos países que recusarem a aceitação de políticas de uso sustentável dos recursos, a atividade econômica local continuará operando normalmente e, assim, a preservação do meio ambiente continuará sob ameaça de colapso.

Conrado *et al*. (2012, p. 346) afirmam, com base no modelo de Hardin (1968), que "uma sociedade que não privilegia a tomada de decisão socialmente responsável pode incorrer no risco de prejudicar a si mesma". Os problemas socioambientais são exemplos da tragédia dos comuns, nos quais o papel da tomada de decisão socialmente responsável ganha especial importância. Para os autores, o papel da educação torna-se fundamental quando é considerada

a necessidade de formar cidadãos socialmente responsáveis, capazes de evitar situações como a tragédia dos comuns.

Hardin (1968) propõe duas alternativas para solucionar tal dilema. Na primeira, os recursos escassos deveriam ser privatizados, considerando que, sob o domínio privado, o acesso e as formas de uso seriam rigorosamente controlados pelos interessados. Na segunda alternativa, o Estado deveria tornar-se o administrador oficial e impor regras de uso. As duas soluções garantiriam a disponibilidade dos recursos naturais, garantia essa anteriormente colocada em risco sob o domínio comunitário. A figura 01 apresenta de maneira visual a proposta do autor com relação às alternativas – coordenação do Estado ou ação privada – para o logro dos interesses comuns e a possível destruição ou fracasso desses no caso da autocoordenação de grupos.

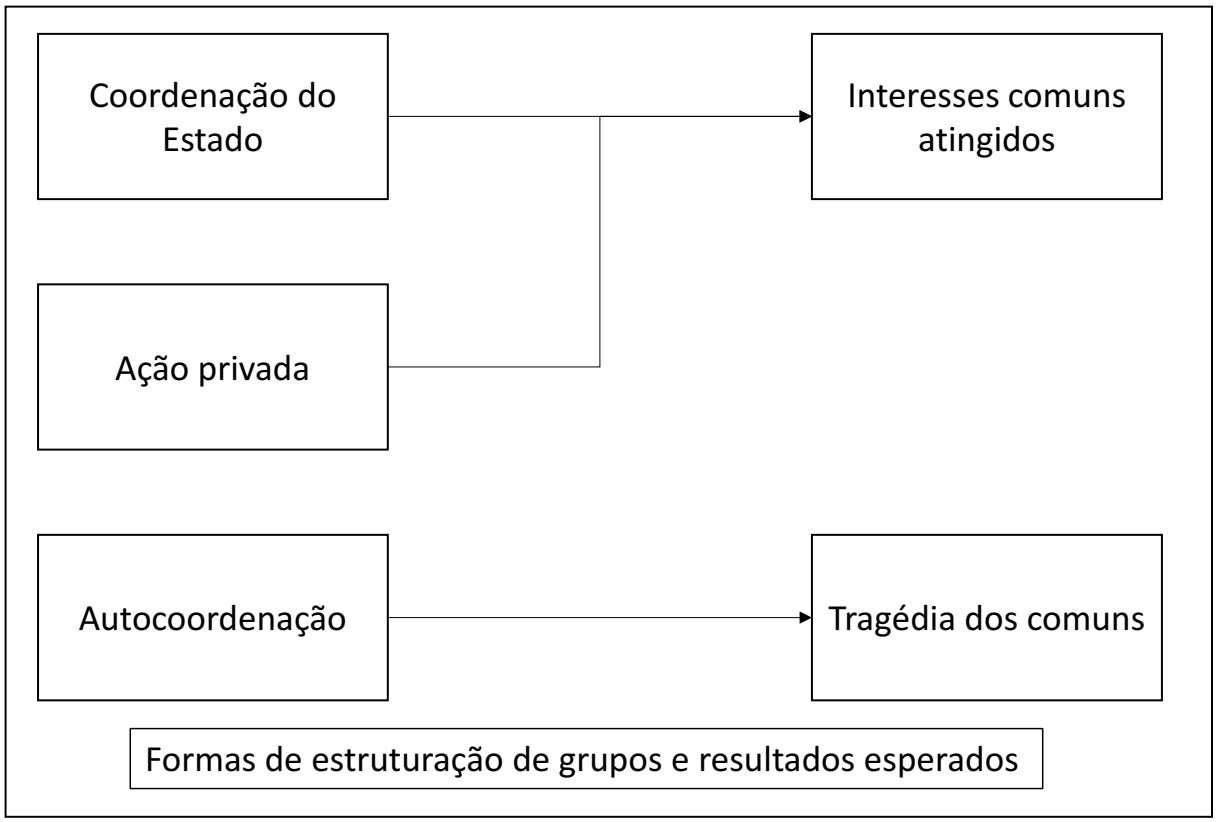


Figura 01 – Modelo de estruturação de grupos e resultados esperados segundo a tragédia dos comuns.
Fonte: Autor

Mendes-da-Silva (2011) acredita que uma unidade central organizando o uso dos bens comuns, sem informação válida e confiável, poderia cometer erros, incluindo o estabelecimento da capacidade de carga ou a multa demasiadamente alta ou baixa, a sanção ao que coopera ou a falta de punição para os que não cooperam. Afirma ainda que, para se evitar a tragédia dos comuns no uso dos recursos naturais e na vida silvestre, basta pôr fim ao regime de propriedade

comum e criar uma propriedade privada. No entanto, essa prática limita o uso e a exploração dos bens a poucos e não por todos (lembrando que o bem é originalmente comum a muitos). Para Ostrom (2011), tanto os defensores da centralização como os da privatização aceitam como princípio central que a mudança institucional deve ter origem externa e ser imposta aos indivíduos afetados.

Assim como Hardin (1968), Axelrod (2010) afirma que, dada a natureza humana e os desafios para a sobrevivência (solidão, pobreza, brutalidade, entre outros desafios), a cooperação parece impossível de emergir em uma sociedade sem que exista uma autoridade central. Como consequência, surge a necessidade da existência de um governo. Entretanto, o autor acrescenta que a cooperação pode sim se manifestar em situações onde não exista uma autoridade centralizadora, por exemplo nas alianças entre países. Tais alianças envolvem escolhas e trocas. Um país somente cede ou ajuda outro se visualizar uma vantagem ou concessão futura que lhe interesse, assim como um executivo em uma organização favorece outro em troca de um favor futuro. A cooperação emerge, nesses casos, por meio da percepção de uma vantagem futura advinda de uma ajuda ou de uma concessão do presente ou, ainda, como forma de retribuição de algo recebido no passado.

3.2 A lógica da ação coletiva

Olson (1971) formulou um conceito sobre a dificuldade de fazer com que os indivíduos persigam seu bem-estar comum, em contraste ao bem-estar individual, denominada lógica da ação coletiva. O autor se propôs a questionar de maneira específica o enorme otimismo expressado na teoria que discute que os indivíduos com interesses comuns atuariam de maneira voluntária para tentar promover tais interesses. A tese básica de seus argumentos é a de que, mesmo que todos os indivíduos de um grupo sejam racionais e centrados em seus próprios interesses, e que saiam ganhando se como grupo agirem para atingir seus objetivos comuns, ainda assim eles não agirão voluntariamente para promover esses interesses comuns e grupais. Ainda segundo o autor, não é impossível a organização de grupos para tais propósitos, impedindo que ocorra a tragédia dos comuns, mas tal organização não é trivial ou espontânea.

Por outro lado, muitos autores afirmam que os grupos de indivíduos com interesses comuns usualmente tentam promover tais interesses (OLSON, 1993). Espera-se que os grupos ajam por esses interesses tanto quanto se espera que os indivíduos ajam por seus próprios

interesses. Esse fato se baseia na premissa de que cada membro do grupo age por seu próprio interesse e tende a agir em favor de seus interesses grupais pela mesma lógica do comportamento racional centrado nos interesses próprios. Não haveria qualquer sentido em se formar uma organização quando uma ação individual puder servir aos interesses de tal indivíduo tão bem ou melhor do que a organização (KYRIACOU, 2010). As associações e afiliações a grupos seriam uma evolução das sociedades industriais a partir de grupos primários como a família e grupos de parentesco em geral (LEVY JR; FALLERS, 1959).

Ostrom (2011) propõe que a premissa de que cada membro do grupo age por seu próprio interesse e que pela mesma lógica tendem a agir em favor dos interesses grupais não é verdadeira. O autor argumenta que não é fato que só porque todos os indivíduos de um determinado grupo ganham ao atingirem seu objetivo grupal, eles agem para atingir tal objetivo, mesmo que todos eles sejam pessoas racionais e centradas nos próprios interesses. A menos que o número de indivíduos do grupo seja realmente pequeno ou exista alguma forma de coerção (por um agente como o Estado), os indivíduos podem não promover os interesses comuns ou grupais. Os indivíduos que pertencem a uma organização ou grupo, mesmo tendo interesses comuns, também têm interesses puramente individuais que podem diferir dos outros membros, interferindo em suas decisões e ações.

Para Rousseau (2010), o ser humano, no início de seu processo de socialização, distinguiu algumas raras oportunidades de contar com seus semelhantes para empreender algo de interesse comum. Caso houvesse a possibilidade de ganhos pela cooperação mútua, os homens uniam-se em bandos. Essas oportunidades faziam os homens unir-se em um tipo de associação livre que não obrigava ninguém a efetivamente fazer parte dela e duraria apenas o tempo necessário para que o empreendimento se concretizasse. Os vínculos nessa situação, para Fiani (2006), todavia, eram frágeis: a cooperação humana durava apenas enquanto a oportunidade que lhe dera origem existia.

Em uma caçada, por exemplo, era preciso que cada caçador ocupasse sua posição no bosque e mantivesse a atenção no cervo. Ocorre que cada caçador também podia aproveitar seu tempo no bosque para caçar uma lebre. A lebre é uma caça mais fácil do que o cervo, pois pode ser capturada por apenas um caçador. A lebre também representa uma quantidade muito menor de carne. O parágrafo abaixo descreve a dinâmica de caça ao cervo e à lebre como exemplificação de como se formavam os grupos de interesse comum e quão frágil era sua natureza:

> Eis como os homens puderam paulatinamente adquirir certa ideia grosseira dos compromissos mútuos e da vantagem de honrá-los, mas só na medida em que pudesse exigi-lo o interesse presente e sensível; pois a previdência nada era para eles, e, longe

> de se preocuparem com um porvir distante, sequer pensavam no dia seguinte. Se precisassem capturar um servo, cada um sentia que devia para tanto manter-se fielmente em seu posto; mas se uma lebre viesse a passar ao alcance de um deles, não há dúvida de que ele a perseguiria sem escrúpulos e que, alcançado a sua presa, pouco se preocuparia em ter feito os companheiros perderem a deles (ROUSSEAU, 2010, p. 121).

Assim sendo, de uma maneira geral, o mais hábil e preocupado com o futuro tirava maior partido do que produzia. O mais engenhoso descobria maneiras de melhorar a eficiência de seu trabalho. Como decorrência das especializações advindas das habilidades e anseios de cada indivíduo, as associações emergiram: "o lavrador precisava de mais ferro ou o ferreiro de mais trigo" (ROUSSEAU, 2010, p. 127).

Agentes em qualquer tipo de interação buscam maximizar seus ganhos, já que ambas as partes têm diferentes objetivos e atitudes perante o risco. O agente nem sempre irá atuar segundo os melhores interesses dos demais, seja por incompetência, negligência ou má-fé. (PAGLIARUSSI; RAPOSO, 2011).

Quando os grupos são pequenos, pode ocorrer alguma ação individual a favor do logro dos objetivos comuns do grupo, porém, segundo Olson (1971), na maioria dos casos, essa ação cessará antes que os resultados atinjam um nível ótimo para todos do grupo de forma geral. Nos grupos pequenos se manifesta uma tendência de exploração do indivíduo de menor força de realização pelo de maior força de realização na partilha dos custos para o logro de um objetivo comum.

Reforçando o comportamento diferenciado de pequenos grupos, Azevedo, Martins e Drummond (2009) estudaram um arranjo comunitário que administra o acesso e o uso do pequi e de outros frutos nativos do cerrado brasileiro por grupos sociais que combinam agricultura familiar e extrativismo. Os grupos populacionais residentes em distintas configurações territoriais e que apresentam forte relação de dependência quanto aos bens e aos recursos naturais têm encontrado formas de administrá-los. Esses grupos conseguem construir arranjos comunitários eficientes e sustentáveis de uso e manejo dos recursos naturais. A figura 02 esquematiza de maneira visual como o tamanho dos grupos pode influenciar no logro dos objetivos comuns, mesmo de maneira não ótima.

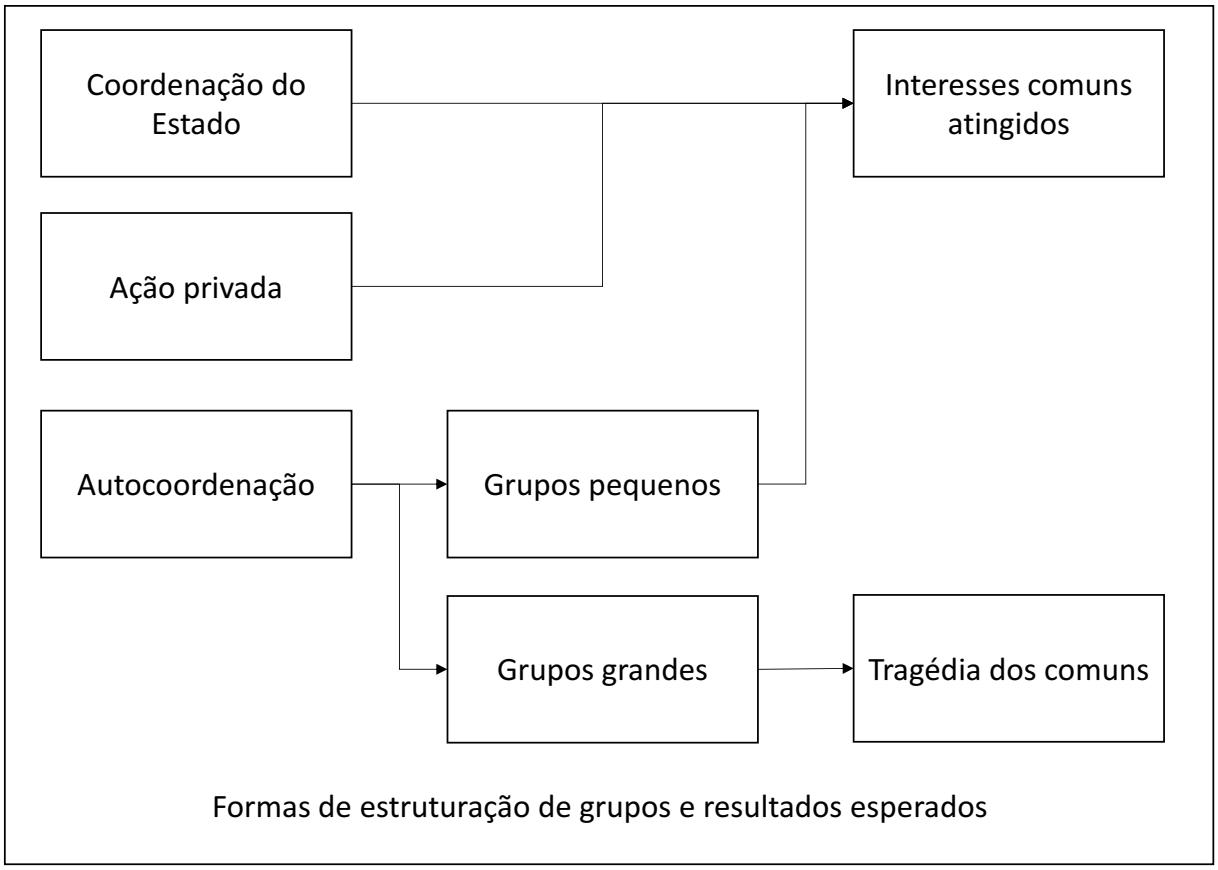


Figura 02 – Modelo de estruturação de grupos e resultados esperados segundo a lógica da ação coletiva.
Fonte: Autor

A maior eficiência dos grupos pequenos fica evidente tanto pela experiência e pela observação quanto pela teoria (OSTROM, 2011). Em alguns grupos pequenos, pelo menos um membro achará que seu ganho pessoal, ao obter o benefício coletivo, excede o custo total de obtê-lo de forma individual. Há membros que ficariam melhores se o benefício coletivo acontecesse mesmo sem a participação dos demais do grupo no subsídio dos custos envolvidos, porém, tal benefício, mesmo nesses casos, geralmente não será provido em um nível ótimo. Os membros do grupo não proverão toda a quantidade de benefício coletivo que seria de seu interesse comum prover e, complementarmente, pode ser percebida uma grande tendência de exploração do grande pelo pequeno nesse tipo de arranjo (OLSON, 1971).

A parceria ou sociedade pode ser uma forma institucional de trabalho viável quando o número de parceiros é pequeno, mas que é geralmente malsucedida quando o número de parceiros é muito grande. Quando uma parceria tem muitos membros, o parceiro individual nota que seu próprio esforço ou contribuição não afetará muito o desempenho grupal e espera obter sua parcela pré-estabelecida dos ganhos, se contribuir com tudo o que poderia ter contribuído. Nesse caso, as parcerias tendem a perdurar somente quando o número de parceiros é realmente pequeno (OLSON, 1971).

As normas de comportamento refletem a valorização que os indivíduos associam a ações ou estratégias por si mesmas e não somente a partir de consequências imediatas. Quando um indivíduo internaliza plenamente uma norma relacionada com o cumprimento de promessas, terá vergonha e culpa ao romper sua promessa pessoal. Caso se trate de uma norma compartilhada, o indivíduo também estará exposto à censura social se levar a cabo uma ação que os demais consideram incorreta (OSTROM, 2011).

Mesmo nesses casos, tais fatores podem ser incipientes. Um exemplo disso é o Estado que possui muitos recursos de apelo emocional, como a garantia à saúde, à proteção, entre outros, para a coletividade, e mesmo assim não é capaz de financiar suas atividades mais básicas e vitais sem recorrer à contribuição compulsória. Os benefícios comuns proporcionados pelo Estado ficam disponíveis para todos, mesmo para aqueles que não pagam por nenhum dos benefícios disponibilizados e não podem ser impedidos de usufruí-los (OLSON, 1993). Assim como no modelo da Tragédia dos Comuns, o simples fato de o objetivo ser comum a um grupo significa que ninguém do grupo ficará excluído do proveito desse bem, impactando ou impossibilitando o logro dos objetivos comuns de maneira ótima.

O impacto mais importante que tem o tipo e a extensão de normas compartilhadas sobre as estratégias disponíveis para os indivíduos está relacionado ao comportamento oportunista que os apropriadores podem esperar dos outros apropriadores dos recursos comuns. Em qualquer grupo há indivíduos que ignoram as normas e atuam de maneira oportunista caso haja uma oportunidade. Também há situações em que os benefícios potenciais são tão altos que até os indivíduos completamente comprometidos rompem as promessas. Em algumas ocasiões, o comportamento oportunista sem controle limita gravemente o que se pode fazer conjuntamente. Mas mudar esses tipos de ações por outras coordenadas ou coletivas não é um problema trivial (OSTROM, 2011).

3.3 Regras institucionais na coordenação de grupos

Toda organização enfrenta um mesmo problema básico: “como coordenar as atividades que empregam os recursos disponíveis, de forma a aumentar o bem-estar social, reduzindo os conflitos naturalmente gerados pela atividade econômica?” (FIANI, 2011, p. 2). A sociedade elabora suas regras, ou seja, suas instituições, visando a promover a cooperação e a reduzir conflitos, de forma a aumentar a coordenação entre as atividades econômicas e diminuir os

desperdícios. As regras desenvolvidas pelos grupos sociais contribuem para a coordenação e o funcionamento do sistema econômico, reduzindo conflitos (FIANI, 2011).

Schmid (2007) afirma que é de suma importância que as instituições sejam criadas e desenvolvidas para a regularização dos conflitos e a coordenação das atividades dos indivíduos em grupo. Ainda segundo o autor, as instituições, nesse contexto, fornecem ordem e previsibilidade às transações humanas. Podem favorecer a cooperação e reduzir os conflitos de interesse que ameaçam limitar ou inviabilizar as transações necessárias para que esses fatores de produção sejam combinados. Em suma, para Schmid (2007), as instituições são as relações humanas que estruturam as oportunidades por meio de restrições e capacitações.

As instituições são as restrições elaboradas pelos homens e dão forma à interação humana. Elas estruturam incentivos no relacionamento político, social ou econômico dos indivíduos. Nesse caso, uma instituição pode ser entendida como uma regra, sempre contendo seu caráter restritivo, uma vez que estrutura o que os indivíduos podem fazer quando estão interagindo durante seus relacionamentos em sociedade (NORTH, 1991). Dessa forma, as instituições organizam as interações sociais, visando à ação coletiva do grupo em torno de um objetivo comum (FIANI, 2011).

O conjunto de regras fundamentais de natureza política, social e legal (denominado ambiente institucional) estabelece a base da produção, da troca e da distribuição, isto é, organiza as ações e determina as regras de interação entre os indivíduos vivendo em sociedade. Contém arranjos institucionais que determinam a forma pela qual os indivíduos ou grupos de indivíduos podem cooperar ou competir (DAVIS; NORTH, 1971). A forma com que o ambiente institucional se desenvolve em certo grupo social torna-o mais ou menos eficiente quanto ao grau de articulação, cooperação e desempenho na busca de seus objetivos coletivos (SCHMID, 2007).

Furubotn e Richter (2008) complementam, afirmando que uma instituição é definida como um conjunto de regras formais e informais que garante a ordem e evita o conflito. As regras formais são frequentemente formuladas e aplicadas por alguma organização central como o Estado. Já as regras informais estão ligadas aos relacionamentos consolidados pelo hábito dos indivíduos no convívio social e por sua cultura.

As instituições formais impõem obediência por meio da lei enquanto as informais são as regras consolidadas pelo convívio social e não necessariamente dependem de leis formais ou da ação e controle de agentes externos como o Estado ou a iniciativa privada (MANTZAVINOS; NORTH; SHARIQ, 2004). As regras formais podem ser ainda entendidas

como sistemas de regras e atividades claramente explicitadas que exercem coordenação e controle para gestão de redes relacionais complexas (MEYER; ROWAN, 1977).

Para Greif (1993), as instituições formais são fundamentais para os processos de negócios e as inter-relações do mercado. Sua ideia é suportada pelo estudo das instituições que permitiram que comerciantes a partir do século XI empregassem representantes comerciais no exterior, apesar das dificuldades inerentes desse tipo de ação para a época. As relações de agência foram governadas por uma coalisão baseada em um mecanismo de reputação que suportou expectativas, relações contratuais implícitas e o processo de transmissão de informações.

Os tribunais de comércio nas feiras de Champagne dos séculos XII e XIII, por exemplo, podem ser analisados como uma instituição que apoiou as relações comerciais impessoais ao longo do tempo. Forneceu incentivos adequados para a coleta de informações necessárias para o desenvolvimento da reputação: honrou os acordos, relatou as disputas e promoveu julgamentos. Além disso, via centralização de certas funções de manutenção de registros, permitiu que comerciantes de boa reputação progredissem, mantendo-os bem posicionados nas feiras (GREIF, 1993).

Já as instituições informais se cristalizam no hábito ou pela pressão do grupo social sobre seus membros, discriminando ou punindo quem quebra as regras (MANTZAVINOS; NORTH; SHARIQ, 2004). As instituições informais ainda podem ser divididas em: convenção, compreendida como a regularidade de conduta a partir de uma regra de caráter social; e norma social, que é a expectativa dos membros de um grupo de que seus indivíduos obedeçam às regras sociais vigentes (BICCHIERI, 2002).

A maioria das pessoas faz cumprir as regras informais pela mesma razão que elas mesmas as cumprem: a pressão social exercida pelo grupo. Porém, isso pode não ser suficiente, pois até mesmo para um verdadeiro crente, os demais membros do grupo devem cumprir a norma social pela razão certa, segundo seus valores e convicções pessoais (CENTOLA; WILLER; MACY, 2005). O reforço promovido pelo grupo em relação ao cumprimento das normas sociais pode ser dividido, segundo Centola, Willer e Macy (2005), em três possibilidades: reforço verdadeiro para crentes (suportam verdadeiramente as normas), reforço verdadeiro para não crentes (se opõem às normas) e falso reforço para os crentes (contra a norma em seu íntimo, mas publicamente a suporta).

Independentemente da natureza formal ou informal, as instituições, ao definirem as regras da sociedade e das organizações, tornam as relações econômicas em grande medida previsíveis, o que facilita as escolhas dos tomadores de decisão, ainda que aconteçam em

situação de incerteza e complexidade (MANTZAVINOS; NORTH; SHARIQ, 2004). Também capacitam os indivíduos a realizar em conjunto aquilo que eles não conseguiriam fazer sozinhos e restringem as formas pelas quais tais indivíduos poderiam atuar conjuntamente (FIANI, 2011), mesmo não sendo garantido que o resultado final seja o melhor possível (OSTROM, 2011).

A figura 3 ilustra de que modo as instituições, como conjunto de regras pelas quais os grupos sociais se coordenam, estão relacionadas com as teorias anteriormente apresentadas e se inserem nos modelos que são alvo de estudo deste trabalho.

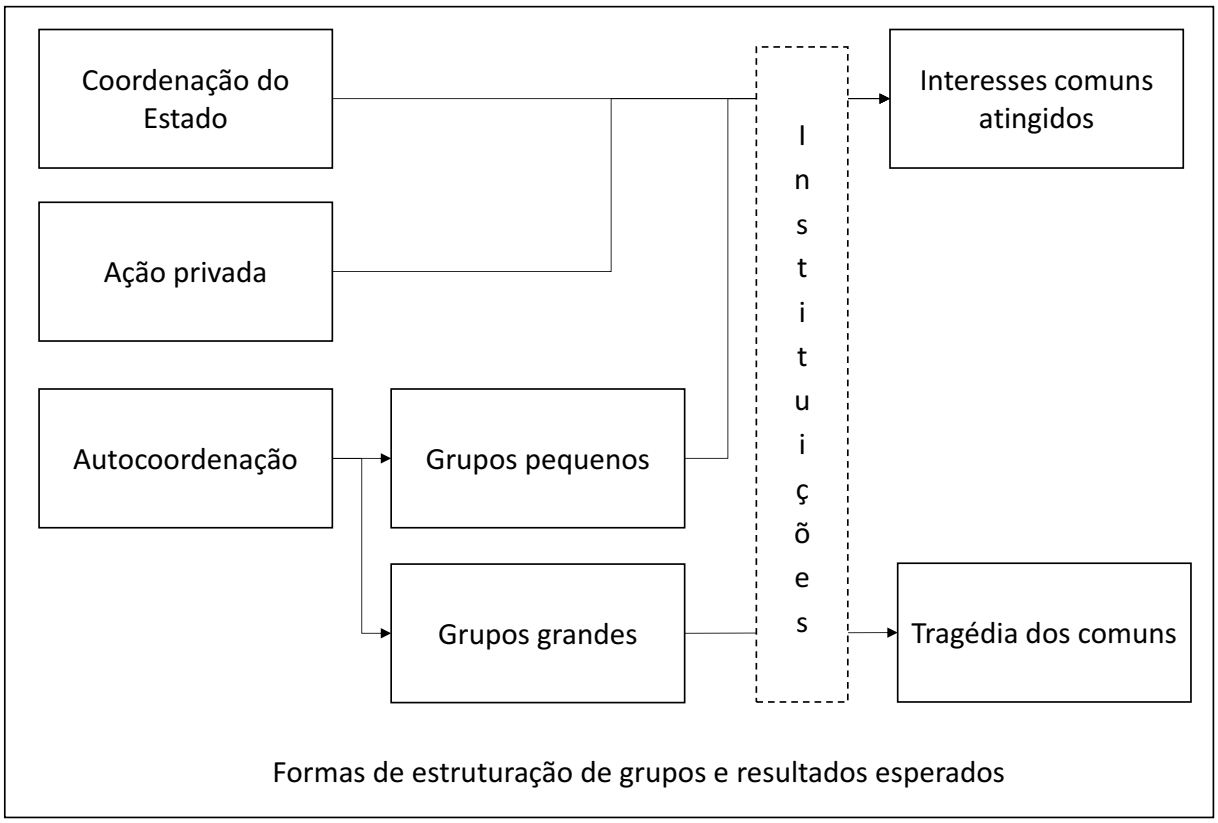


Figura 03 – Instituições como meio para que os grupos se estruturem.
Fonte: Autor

3.4 O modelo de Akerlof e Kraton sobre identidade e comportamento de grupo

Akerlof e Kraton (2000) incorporam a psicologia e a sociologia da identidade em um modelo econômico de comportamento social. Propõem uma função utilidade, em que identidade é associada a diferentes categorias sociais e a como as pessoas nessas categorias deveriam se comportar. Para isso, foi construído um modelo de teoria dos jogos com o objetivo

de analisar como a identidade pode afetar interações individuais, adaptando modelos de discriminação por gênero, pobreza e exclusão social e divisão do trabalho. Concluíram ao final de seus estudos que a identidade influencia as recompensas econômicas.

Para os autores, identidade, em análise econômica, é definida como o senso que uma pessoa possui de si mesma. Tal conceito pode dar conta de muitos fenômenos que a economia tradicional não pode explicar. Inúmeros pesquisadores em diversos campos da área das ciências humanas, como psicologia, sociologia, ciência política, antropologia e história adotam identidade como um conceito geral em seus estudos.

Tajfel (1974) complementa tal definição, propondo que, para se sentir parte de um grupo, o indivíduo utiliza a categorização e a comparação com os demais pertencentes ao grupo para formar sua identidade. Identidade dentro de um grupo garante integração e segurança e possui para seus indivíduos caráter duradouro, reduzindo a insegurança oriunda de eventuais mudanças.

Ashforth e Mael (1989) argumentam que, como a categorização e a comparação garantem a percepção de unidade com o grupo, o indivíduo adota comportamentos e atitudes que são congruentes com essa identidade. Tais comportamentos e atitudes suportam as instituições constituídas, as percepções estereotipadas de si e dos demais e as expectativas quanto à atitude de todos os membros que formam o grupo. Desse modo, como complementado por Chen e Chen (2011), com a identidade, o grupo passa a aprender e a se coordenar para alcançar uma situação de equilíbrio e eficiência.

A coesão do grupo, seus comportamentos e atitudes congruentes com a identidade ganham força em grupos menores. Segundo Hinkle *et al.* (1989), em grupos menores, os indivíduos tendem a reforçar suas similitudes e identidade social, tendo em vista a maior convivência e a influência causadas pela proximidade.

De certa forma, a discussão sobre identidade social parece alinhada com a proposta de Ostrom (2011) sobre a capacidade de organização e autocoordenação de grupos pequenos. Tais grupos parecem desenvolver maior identidade social e, consequentemente, instituições mais fortes e estáveis.

A figura 04 apresenta o modelo suportado pelas teorias estudadas anteriormente acrescido da identidade, influenciadora dos comportamentos sociais, como base da estruturação dos grupos e de como estes se coordenam. Os comportamentos sociais, nesse caso, estão ligados ao seguimento ou não das regras estabelecidas que poderiam evitar a tragédia dos comuns.

A utilidade, modelada por meio de funções matemáticas, é uma maneira de medir a satisfação relativa de um indivíduo. A medição da sua variação permite a explicação das

decisões tomadas e dos comportamentos adotados dos indivíduos na busca por aumentar sua satisfação. A utilidade é normalmente usada para se estudar a tomada de decisão frente aos custos ou riscos existentes e à possibilidade de ganhos tanto financeiros como de lazer (DASGUPTA, 2008).

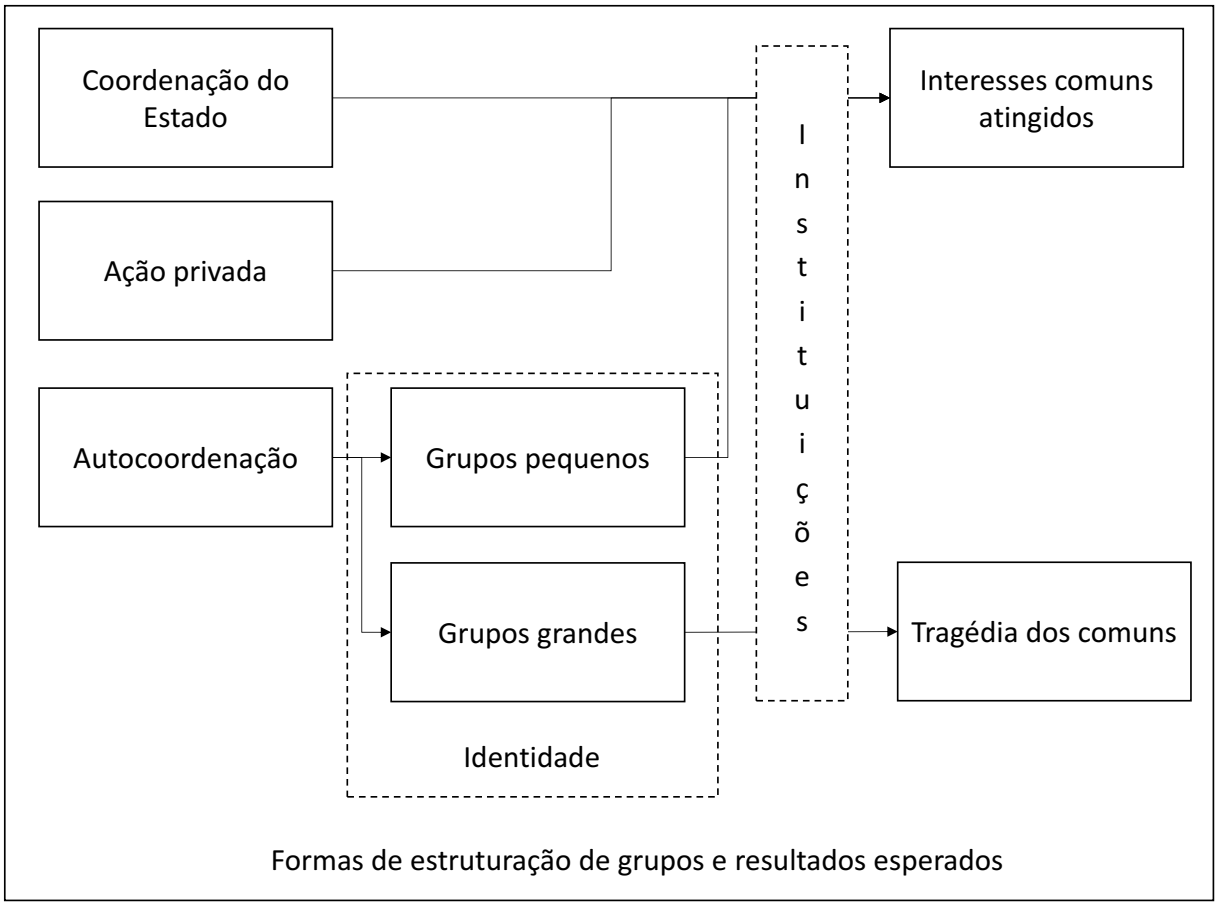


Figura 04 – Identidade como suporte à formação dos grupos e desenvolvimento das instituições.
Fonte: Autor

O modelo de função utilidade, concebido por Akerlof e Kraton (2000), contém duas pessoas, P1 e P2, e propõe que P1 pertença à categoria social predominante comumente aceita, denominada de categoria 1, e P2 pertença à categoria 2, que possui normas antagônicas à categoria 1. Além disso, o modelo assume as seguintes regras de comportamento:

a) Se P1 e P2 agem conforme categoria 1, então:

$$U1 = V \text{ e } U2 = 0 \quad ...(1)$$

b) P2 age conforme categoria 2 e P1 aceita, então:

$$U1 = V - Io \text{ e } U2 = V - Is \quad ...(2)$$

c) P2 age conforme categoria 2 e P1 protesta, então:

$$U1 = V - C \text{ e } U2 = V - Is - L \quad ...(3)$$

Onde U1 e U2, nas equações (1), (2) e (3) são as utilidades (ganhos) de P1 e P2, respectivamente; V é a utilidade de uma pessoa por desempenhar uma interação da qual ela se identifica plenamente (máxima utilidade possível), Io é a perda de identidade com relação à outra pessoa, Is é a perda sofrida pelo indivíduo por não se sentir parte da categoria dominante, C é perda ocorrida devido à categoria 1 ter sido reduzida de um membro e L é a perda por não se pertencer mais à categoria 1.

A decisão de P1 e P2 com relação a que comportamento adotar resulta da combinação dos valores assumidos pelas variáveis do modelo no momento da tomada de decisão. Desta forma:

a) P2 opta por agir conforme a categoria 1 quando:
   $V < Is$ ...(4)
b) P1 protesta e P2 age conforme a categoria 1 quando:
   $C < Io \text{ e } Is < V < Is + L$ ...(5)
c) P1 protesta, mesmo assim P2 age conforme a categoria 2 quando:
   $C < Io \text{ e } Is + L < V$ ...(6)
d) P1 não protesta e deixa P2 agir conforme a categoria 2 quando:
   $Io < C \text{ e } Is < V$ ...(7)
e) Caso L seja muito grande, P2 pode abandonar definitivamente a categoria 2.

Uma estruturação simples de uma função utilidade, como nas inequações (4), (5), (6) e (7), pode representar as decisões sobre como as pessoas agem de acordo com suas pré-disposições (valores, crenças, etc.) e contextos de grupo. Em um mundo social diferente em termos de comportamento, uma das mais importantes decisões econômicas que um indivíduo toma pode ser o tipo de pessoa a ser. As limitações dessas escolhas também podem ser determinantes para o comportamento, oportunidades e bem-estar das pessoas.

Os comportamentos possíveis descritos pelo modelo de Akerlof e Kraton (2000) corroboram Centola, Willer e Macy (2005) que discutem sobre o reforço promovido pelo grupo em relação ao cumprimento das normas sociais. Quando P1 age conforme a categoria 1, ocorre um reforço verdadeiro para os que suportam verdadeiramente as normas. Quando P2 age conforme a categoria 2, ocorre um reforço verdadeiro para os que se opõem às normas. Para o caso de P2 agir conforme a categoria 1, ocorre o falso reforço, ou seja, a pessoa é intimamente contra, mas publicamente suporta as normas predominantes.

Dessa forma, a decisão de um indivíduo quanto a cumprir alguma regra social depende, segundo o modelo proposto por Akerlof e Kraton (2000), da combinação de variáveis ligadas à identidade que compõem a sua função utilidade e da função utilidade dos demais indivíduos

próximos a ele. As decisões quanto a agir conforme as regras; ao protesto por ver outro não agindo de acordo com elas; e à conivência com quem não age conforme o comportamento comumente aceito são fruto de fatores internos individuais (traços de personalidade) e da composição de fatores externos resultantes das interações sociais e econômicas do grupo.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Uma simulação de sociedade possui um conjunto de características, incluindo natureza formal, motivação científica na resposta de questões de pesquisa e caráter experimental. São modelos formais expressos por linguagem computacional e, como tal, são suscetíveis a considerações, regras e desafios comumente encontrados nos domínios da modelagem matemática nas ciências sociais (como teoria dos jogos, etc.) com necessidades adicionais por tratar-se de simulação (CIOFFI-REVILLA, 2010).

O modelo de simulação é construído com o propósito de responder a um grupo bem definido de perguntas de pesquisa. As perguntas de pesquisa de um projeto de simulação de sociedade definem o modelo final a ser obtido. Projetos complexos de SBA possuem uma série de aspectos que os distinguem de outros projetos de simulação (CIOFFI-REVILLA, 2010), tais como:

a) Complexidade sócio-tecno-natural, uma vez que o sistema a ser simulado é fundamentalmente complexo, consistindo de um conjunto de interações sociais, como no ambiente natural que possui certas dinâmicas físicas e biológicas;
b) Complexidade multiescala, uma vez que o sistema a ser simulado é fundamentalmente constituído de múltiplos níveis de escala de tempo; e
c) Complexidade multi e interdisciplinar, já que o time de pesquisadores em projeto de SBA é tipicamente composto por cientistas de diversas disciplinas com abordagens e habilidades diversas. A comunicação e o entrosamento de todos são fundamentais para o sucesso do empreendimento.

Cabe aqui salientar que qualquer modelo de simulação, como um de SBA (ambiente artificial), e suas regras arbitradas possui limitações com relação a espelhar o funcionamento do mundo real, por retratar de maneira simplificada as ações humanas, as relações sociais e suas estruturas (FORD, 2010). Acreditar que seja possível representar o comportamento humano por meio de regras matemáticas e algoritmos computacionais é uma característica presente nas abordagens objetivas (determinística e positivista) norteadas pelo paradigma científico funcionalista (MORGAN, 1980). As regras gerais de comportamento social e das estruturas existentes na sociedade modelada e os resultados extraídos dela representam a visão de mundo pragmática e determinista que é pressuposto básico do projeto de simulação baseada em agentes proposto neste trabalho.

Segundo Queiroz (2010), a execução de um projeto envolvendo simulação requer normalmente a revisão bibliográfica, a construção de um modelo de simulação, a sua execução e análises de seus resultados. Das análises dos resultados obtidos surgem as possíveis comparações entre as hipóteses simuladas e as evidências empíricas existentes que podem demandar novos questionamentos para a área da ciência estudada ou ajustes e alterações nos modelos de simulação construídos. Dessas etapas mencionadas, resultam os *insights* que permitem o avanço da teoria e da ciência de uma forma geral. Pretende-se, como ponto de partida, utilizar-se o modelo de Queiroz (2010) como abordagem metodológica para este trabalho de pesquisa.

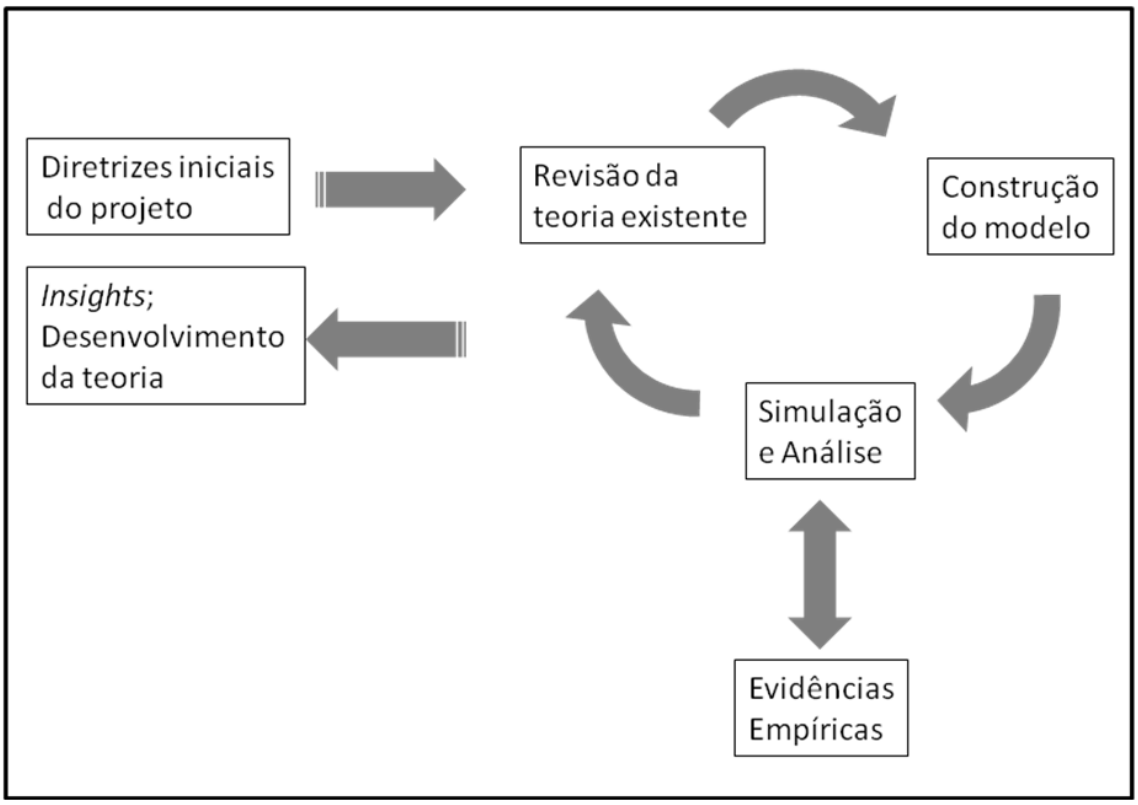


Figura 05 – Abordagem interativa para execução do projeto.
Fonte: Autor "Adaptado de" Queiroz, 2010, p. 20.

A figura 05 apresenta de forma visual a proposta de Queiroz (2010) sobre como pode ser tratado um projeto de pesquisa de SBA. Tal projeto inicia-se a partir de um direcionamento básico, isto é, com perguntas e objetivos de pesquisa previamente concebidos e baseados em interesses de pesquisa iniciais. A próxima etapa envolve a revisão teórica sobre modelagem e simulação e sobre os fenômenos sociais, seguida pela construção do modelo e a execução e análise da simulação. As três últimas etapas são interativas, pois podem ser ajustadas de acordo com os resultados obtidos na simulação realizada, confrontadas e ajustadas pelas evidências

empíricas existentes sobre o fenômeno estudado por meio da SBA. Ao final desse processo de ajustes e refinamento, obtêm-se como resultado final da pesquisa os chamados *insigths* e o consequente avanço e desenvolvimento da teoria sobre a área estudada.

As diretrizes iniciais do projeto estão caracterizadas na introdução deste trabalho e representam os objetivos estabelecidos, as perguntas a serem respondidas e a contextualização inicial sobre o tema e sua relevância. A revisão da teoria existente aborda vários temas, incluindo a teoria sobre SBA e a literatura existente sobre o modelo da tragédia dos comuns, da lógica da ação coletiva, instituições e identidade social. No desenvolvimento do trabalho são realizadas a construção do modelo proposto, a simulação e as análises. *Insights* e desenvolvimento da teoria podem ser entendidos como parte da conclusão deste trabalho.

Como abordado no capítulo referente à teoria sobre simulação baseada em agentes, as caracterizações dos agentes, do ambiente e das regras de comportamento são necessários na modelagem. Para a caracterização e modelagem de cada uma dessas figuras, é necessária a configuração das variáveis relevantes para a simulação. Algumas destas variáveis, segundo a abordagem de Queiroz (2010), são:

a) Método de busca: lógica utilizada por um agente para aperfeiçoar (progredir) suas transações;
b) Amplitude de visão: número de indivíduos que um agente pode observar simultaneamente para que ocorram as interações;
c) Características dos indivíduos: atributos de cada agente desenhado de acordo com a teoria;
d) Posição inicial: *setup* do ambiente artificial;
e) Capacidade de ajuste: ajustes da sensibilidade das características dos agentes e das regras de comportamento.

Todo projeto de SBA deve ter capacidade de ajuste das variáveis que caracterizam os agentes e as regras de comportamento estabelecidas entre eles (QUEIROZ, 2010). Sendo assim, algumas das variáveis utilizadas no modelo para o estudo em questão precisam estar disponíveis para ajustes de maneira simples, sem que sejam necessárias alterações nos códigos do programa.

Neste projeto de SBA, denominar-se-ão genericamente de parâmetro as variáveis passíveis de ajustes fáceis, sem alteração de código de programa, e de botão as funcionalidades de ajuste ou calibração de cada parâmetro. Um parâmetro pode ser ajustado por meio de uma alteração de valor da variável ou por meio de arrastamento de um botão (*slider*). A definição

de como é ajustado cada parâmetro depende de como o projeto está sendo desenvolvido e dos valores limites inferiores e superiores de cada uma das variáveis.

5 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SBA

Neste capítulo é apresentado, com suas regras e parâmetros, o modelo de SBA desenvolvido para o estudo do comportamento coletivo frente aos recursos escassos existentes, assim como os comportamentos individuais que moldam as estruturas de grupo com suas regras. Tal modelo foi concebido utilizando-se como referência o desenvolvido por Epstein e Axtell (1996), denominado *Sugarscape* (ou ambiente de açúcar, em português).

5.1 O modelo de SBA de referência – *Sugarscape*

Epstein e Axtell (1996) propuseram um modelo de SBA no qual o açúcar é o recurso vital para que os indivíduos sobrevivam. Esse açúcar fica distribuído por todo o ambiente e é a motivação básica para que os indivíduos (chamados comedores de açúcar) se movimentem, interajam e acumulem açúcar. Algumas configurações básicas são estabelecidas inicialmente e certas regras complementares são adicionadas conforme aumenta a necessidade de análise e de respostas a ser obtidas. Tais regras e análises complementares abordam questões como longevidade, reprodução, herança genética, migração, poluição ambiental, transmissão de cultura, combate, transmissão de doenças, imunidade, relações de comércio e comércio à base de crédito, entre outras. Essas regras complementares, entretanto, não são tratadas neste trabalho por não integrarem o modelo proposto por este estudo.

A distribuição geográfica dos indivíduos é aleatória por todo o ambiente que é desenhado contendo uma série de posições batizadas por coordenadas cartesianas “x” e “y” (51 linhas por 51 colunas). Nunca dois indivíduos ocupam a mesma posição ao mesmo tempo e o nascimento é aleatório, podendo um indivíduo ocupar um local com alta ou baixa disponibilidade de açúcar.

O consumo individual de açúcar de cada indivíduo para sua sobrevivência é estabelecido pelo seu metabolismo e é a sua motivação básica para a movimentação para outra posição. Movimentar-se está relacionado à busca por mais açúcar e consequente manutenção de sua existência. Caso o açúcar acabe, o indivíduo desaparece, ou seja, morre.

A procura por um local vazio que contenha açúcar torna o alcance de visão necessário para que um agente se movimente. A racionalidade limitada (SIMON, 1991) pode ser modelada

por meio dessa configuração, já que os indivíduos não podem visualizar, a cada ciclo, todo o ambiente em busca de açúcar. A cada um deles é atribuído, aleatoriamente durante o seu nascimento, um valor de alcance de visão. A cada ciclo da simulação, cada indivíduo pode se mover para qualquer posição visível pelo seu alcance de visão que esteja desocupada; sendo assim, o campo de visão corresponde a um atributo de visão e de movimentação.

Outro ponto importante a ser definido com relação ao alcance de visão em um projeto de SBA é a percepção da vizinhança. Tanto Epstein e Axtell (1996) como Gotts, Polhill e Law (2003) citam como práticas comuns, utilizadas por diversos autores e praticantes de SBA, dois possíveis conceitos: vizinhança de Von Neumann e vizinhança de Moore. A figura 06 apresenta os dois conceitos de vizinhança: o primeiro, em que um agente só enxerga os quatro lados (norte, sul, leste e oeste) sem poder visualizar posições na diagonal; e o segundo, que inclui as diagonais na visão do agente.

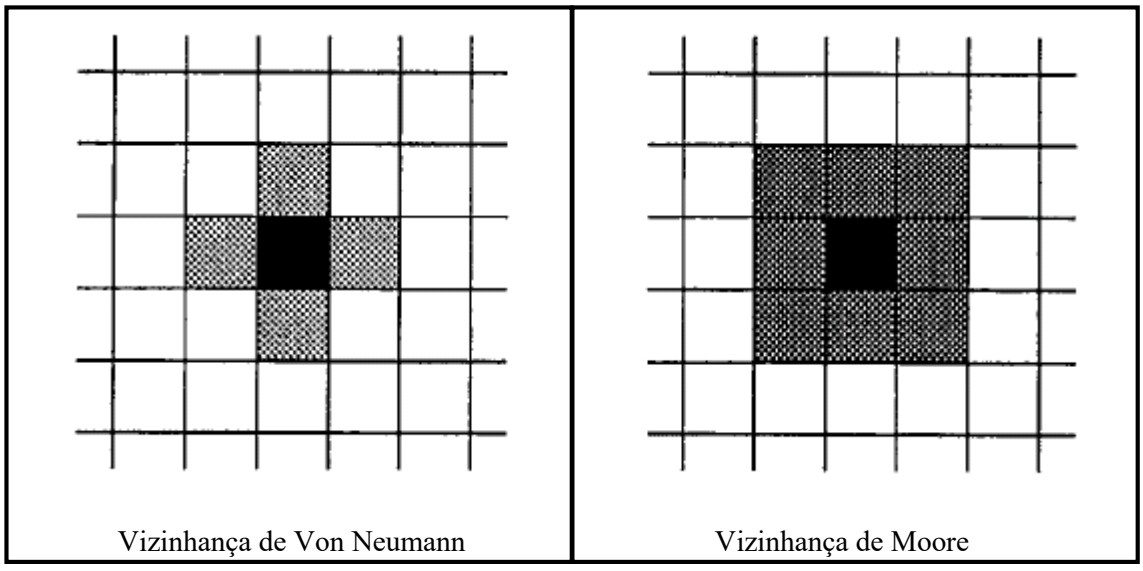


Figura 06 – Vizinhança de Von Neumann e vizinhança de Moore.
Fonte: Autor "Adaptado de" Epstein e Axtell, 1996, p. 39.

Estabelecidos o alcance e as direções de visão possíveis (vizinhança) para os indivíduos, as regras para locomoção no ambiente de açúcar podem ser determinadas. A cada rodada da simulação (ciclo da simulação), cada indivíduo deve identificar a posição, segundo as regras já estabelecidas de alcance e direção, que possui a maior quantidade de açúcar. Caso exista mais de uma posição que atenda às regras, o indivíduo deve se movimentar para a posição mais próxima. Sendo assim, as regras de movimentação modeladas no ambiente de açúcar estabelecem a movimentação para a posição desocupada com maior quantidade de açúcar disponível e que esteja dentro dos limites do alcance de visão do agente.

Ao se movimentar para a nova posição, o indivíduo deve acumular todo o açúcar existente ali e consumir o seu metabolismo. Caso tal indivíduo não tenha acumulado açúcar suficiente para suprir seu metabolismo, ele morre. Após a movimentação, o nível de açúcar da posição desocupada é restabelecido.

Epstein e Axtell (1996) utilizaram esse modelo básico para testar o conceito de *Carring Capacity* ou capacidade suportada pelo ambiente, conceito que pode ser entendido como sendo a capacidade de o ambiente se restabelecer após a extração de seus recursos por um agente. Para tal teste, foram realizadas simulações com dois modelos de restabelecimento do nível de açúcar para cada posição. O primeiro caso, mais simples, estabelece que o nível de açúcar da posição desocupada seja restabelecido ao nível original (inicial) e, no segundo caso, estabelece que o nível de açúcar seja restabelecido ao nível original reduzido de 1 unidade, caracterizando a degradação progressiva do ambiente.

Tanto o primeiro como o segundo modelo de restabelecimento do nível de açúcar para o teste da capacidade suportada pelo ambiente possuem os pressupostos básicos de degradação do ambiente, em caso de excesso de extração de recursos do ambiente, presentes no modelo da tragédia dos comuns, justificando seu emprego como modelo de referência para este trabalho.

5.2 Nomenclatura utilizada e correlações entre os modelos

O açúcar, recurso vital do ambiente artificial construído neste trabalho, é denominado simplesmente de recurso. Assim como no caso do açúcar do modelo *Sugarscape*, os recursos estão disponíveis no ambiente e serão criados e distribuídos aleatoriamente durante a inicialização da simulação. Os agentes comedores de açúcar, denominados de indivíduos neste modelo, necessitam de recursos para sobreviver. Todo o excesso acumulado de recursos é estocado por cada indivíduo e pode ser considerado como a riqueza acumulada pela atividade de exploração do ambiente.

O conceito de capacidade suportada pelo ambiente empregado neste estudo é o primeiro proposto no *Sugarscape*, no qual os níveis de recursos de cada posição se restabelecem para os originais, porém, o ritmo para essa regeneração será um parâmetro porcentual (taxa de regeneração) definido previamente a cada simulação executada. Desta forma, assim como proposto por Ostrom (2011), o ambiente pode se regenerar, embora essa regeneração possa ser lenta. A lentidão na regeneração frente a uma grande velocidade na extração dos recursos pode

levar o sistema a um colapso, ou seja, o ambiente poderá ser totalmente consumido antes de poder se recompor, assim como no modelo de degradação proposto por Hardin (1968).

O metabolismo presente nos agentes que dependem do açúcar pode ser analogamente entendido como sendo a quantidade de recursos que um indivíduo consome para se manter vivo e em atividade por um determinado período de tempo. Representa a alimentação, os recursos financeiros, entre outros itens necessários para que cada indivíduo presente no ambiente em estudo se perpetue. O metabolismo neste trabalho é denominado consumo necessário e é realizado a cada ciclo da simulação. O consumo necessário de cada indivíduo é estabelecido aleatoriamente, dentro de uma faixa de possíveis valores determinados por um parâmetro definido na inicialização da execução. Caso o estoque de recursos do indivíduo esteja baixo, abaixo de um valor mínimo (necessidade mínima) para tal indivíduo, ele morre.

O alcance de visão, característica necessária para que um agente visualize novas posições possíveis e se movimente para uma delas, é denominado visão. Após o deslocamento, cada indivíduo deve estocar os recursos permitidos e descontar seu consumo necessário.

Nomenclatura do *Sugarscape*	**Correspondente do modelo desenvolvido**
Ambiente de açúcar	Ambiente
Açúcar	Recursos a serem explorados
Agentes consumidoresde açúcar	Indivíduos que extraem, consomem e acumulam recursos do ambiente
Metabolismo	Consumo necessário de cada indivíduo
Alcance de visão	Visão da existência de recursos no ambiente
Açúcar acumulado	Estoque de recursos

Quadro 01 – Correspondência entre o modelo de referência e o modelo proposto.
Fonte: Autor

O quadro 01 apresenta as nomenclaturas utilizadas pelo trabalho proposto, alinhadas com os temas e referências utilizadas, e suas correspondências com os objetos estudados no modelo *Sugascape*.

5.3 Parâmetros básicos do modelo

Segundo Queiroz (2010), todo projeto de SBA deve ter capacidade de ajuste das variáveis que caracterizam os agentes e as regras de comportamento estabelecidas entre eles. Os parâmetros são as variáveis que proporcionam tais ajustes e se dividem em parâmetros gerais ou de observador, parâmetros dos indivíduos (agentes) e parâmetros do ambiente (NETLOGO, 2013).

Assim como no modelo de Morano e Moraes (2013), o "número inicial de indivíduos" e o "número máximo de ciclos" compõem os parâmetros gerais ou de observador básicos do modelo proposto. O primeiro estabelece a quantidade de indivíduos que é criada na inicialização da simulação a ser executada. O ambiente possui tamanho e quantidade de recursos disponíveis fixa, dessa forma, o número inicial de indivíduos é fundamental para a determinação da densidade populacional inicial e para se estabelecer o grau de escassez inicial de recursos no ambiente. A proporção de recursos disponíveis frente ao grupo que deles é dependente é função do número inicial de indivíduos existentes no ambiente.

A simulação é finalizada após um número arbitrário de ciclos de simulação por meio do parâmetro "número máximo de ciclos". Cada ciclo de simulação corresponde a uma unidade de tempo decorrido da simulação e indica uma rodada da simulação em que todos os agentes realizaram suas movimentações e interações com os demais. Normalmente com números grandes de interações, é possível verificar as tendências e a evolução da população. Baseando-se nas regras estabelecidas pelo *setup* e mantendo todas as execuções realizadas com o mesmo número de ciclos total, é possível um termo de comparação entre os diversos cenários idealizados e executados.

Todos os indivíduos são criados durante o *setup* da simulação. Cada um deles deve receber várias características que os definem durante a execução da simulação. Essas características são chamadas de parâmetros dos indivíduos e possuem certas regras que serão seguidas durante a execução da simulação.

O parâmetro "consumo necessário" de cada indivíduo – valor de recursos que deve ser descontado do estoque de recursos de cada um a cada ciclo da simulação – é definido por um valor porcentual previamente estabelecido. Caso o indivíduo tenha acumulado mais recursos ao longo do tempo, ele tem um maior consumo absoluto e vice-versa. Essa decisão está baseada no fato de as pessoas possuírem despesas e tributos proporcionais aos seus tamanhos, riquezas e rendas, conforme afirma Hack (2008).

O parâmetro “necessidade mínima de recursos” estabelece a quantidade absoluta mínima de recursos necessária para a sobrevivência de um indivíduo em um ciclo da simulação. Caso o estoque do indivíduo em um determinado ciclo seja inferior a esse valor, o indivíduo morre, ou seja, é excluído do ambiente. Essa medida foi tomada porque o consumo necessário é um valor percentual do estoque individual e, sem uma quantidade mínima absoluta pré-estabelecida, haveria o risco de indivíduos sobreviverem com valores baixíssimos de recursos estocados.

O parâmetro “visão” dos indivíduos tem a mesma função e características do alcance de visão determinadas no ambiente de açúcar. Os indivíduos devem verificar posições desocupadas com recursos disponíveis, respeitando seu campo de visão, e se deslocar para aquela com maior quantidade de recursos disponíveis. Em caso de não haver recursos disponíveis ou haver mais de uma posição com mesma distância e mesma quantidade de recursos, a escolha é aleatória. O conceito de vizinhança utilizado é o de Moore, por ser mais abrangente e por ser mais usado entre pesquisadores e praticantes de SBA. Adotando-se limitações para a visão do indivíduo, garante-se que o modelo possui aderência com o conceito de racionalidade limitada, proposto por Simon (1991).

O parâmetro “estoque inicial de recursos” também é atribuído a cada indivíduo, durante o *setup*, de forma aleatória, respeitando certo intervalo de valores possíveis.

Compondo os parâmetros de ambiente estão o “percentual permitido de extração” de recursos e a “taxa de regeneração” que são determinados no início da simulação do modelo de SBA, permitindo análises quanto à capacidade de regeneração do ambiente e à voracidade dos indivíduos relacionadas à exploração dos recursos comuns disponíveis.

O percentual permitido de extração de recursos representa a regra que estabelece o quanto cada indivíduo pode extrair de sua posição atual, mantendo uma parte dos recursos existentes intacta. As leis de proteção ambiental no Brasil normalmente estabelecem que valores porcentuais em relação às áreas de exploração devam ser mantidas intactas, como no exemplo da Lei do Estado de Minas Gerais nº 14.309, de 19 de junho de 2002, em seu artigo de número 14. Dessa forma, somente uma parte percentual dos recursos disponíveis nas posições da área de exploração (quantidade permitida para exploração) pode ser extraída a cada ciclo, facilitando o processo de regeneração de recursos das posições da área de exploração. O parâmetro em questão, ligado à preservação, garante aderência ao proposto por Ostrom (2011), já que os pequenos grupos que se autocoordenam promovem ações de preservação ou de uso racional dos recursos comuns. Esses grupos estão normalmente diante de situações de escassez e não de abundância.

Parâmetros básicos	**Descrição do parâmetro**
Número inicial de indivíduos	Quantidade de indivíduos que é criada na inicialização da execução da simulação.
Número máximo de ciclos	Número de ciclos máximo estabelecido para cada execução da simulação.
Consumo necessário	Valor percentual de recursos que deve ser descontado do estoque de recursos de cada indivíduo a cada ciclo da simulação.
Necessidade mínima de recursos	Estabelece a quantidade absoluta mínima de recursos necessária para a sobrevivência do indivíduo em cada ciclo.
Visão	Mesma característica do alcance de visão determinada no ambiente de açúcar.
Estoque inicial de recursos	Quantidade de recursos que é atribuído para cada indivíduo no momento da sua criação.
Quantidade permitida para exploração	Porcentagem da quantidade de recursos existentes na posição em que o indivíduo se encontra que pode ser estocada.
Taxa média de regeneração	Porcentagem da quantidade original de recursos existente em cada posição que é regenerada a cada ciclo.

Quadro 02 –Parâmetros básicos usados na inicialização da simulação.
Fonte: Autor

A regra criada que regula o comportamento quanto à quantidade permitida de extração de recursos representa as instituições desenvolvidas por um grupo com o objetivo de promover o aumento da coordenação entre os indivíduos, conforme proposto por Fiani (2011).

O último parâmetro básico de ambiente é a “taxa média de regeneração” do ambiente. Trata-se de um parâmetro percentual que estabelece o ritmo de regeneração de cada posição do ambiente em relação à sua quantidade original de recursos.

A taxa média de regeneração foi concebida a partir do conceito de que as fontes renováveis de recursos naturais, conforme proposto por Crespo, Matos e Abreu (2009), regeneram-se em certo ritmo, dependendo do recurso em questão, das condições locais ambientais e de outros fatores. Normalmente os recursos comuns que são explorados pelos pequenos grupos que se autocoordenam são, segundo Ostrom (2011), do tipo renovável mais do que não renovável.

O quadro 02 apresenta os parâmetros básicos que são utilizados para o *setup* da simulação e uma descrição resumida de suas características e funções.

5.4 Modelo decisório para adoção de comportamento

Conforme apresentado anteriormente, no capítulo de revisão da literatura, Akerlof e Kraton (2000) propuseram um modelo com dois tipos de indivíduos de tal forma que cada um deles pertencesse a categorias sociais diferentes e antagônicas, sendo a primeira delas predominante em relação à segunda. O comportamento de cada indivíduo com relação às regras existentes em cada uma das categorias sociais depende de uma predisposição íntima e de combinações de variáveis que compõem a função utilidade de cada um dos indivíduos. Sendo assim, aderente ao proposto por Centola, Willer e Macy (2005), poderemos ter indivíduos de uma categoria agindo ou não conforme as regras preconizadas por tal categoria.

Extrapolando o modelo de Akerlof e Kraton (2000) para o modelo proposto para este estudo, existem indivíduos pertencentes às duas categorias: predispostos a seguir a regra de exploração dos recursos disponíveis e não predispostos a seguir a regra.

Um indivíduo, ao mudar de posição no ambiente, de acordo com sua visão em um determinado ciclo da simulação, deve tomar a decisão quanto a seguir ou não a regra de exploração. Caso o indivíduo seja pertencente à categoria Cs (também chamada de categoria 1), ou seja, tenha predisposição para seguir a regra, ele irá extrair somente a quantidade permitida da posição do ambiente onde se encontra. Caso o indivíduo pertença à categoria Cn (também chamada de categoria 2), ou seja, não tenha a predisposição para seguir a regra, ele deverá tomar uma decisão quanto a que comportamento adotar.

O comportamento do indivíduo da categoria Cn depende da combinação entre variáveis próprias e dos demais indivíduos do ambiente. O indivíduo em questão toma sua decisão de agir conforme ou contra a regra de exploração, segundo o modelo de Akerlof e Kraton (2000),

adaptado às situações, variáveis e parâmetros existentes no modelo de SBA proposto neste estudo.

As funções utilidade de cada um dos indivíduos Ps e Pn (indivíduos predispostos a seguir a regra e não predispostos a segui-la, respectivamente) são definidas conforme a seguir:

a) Se Ps e Pn agem conforme categoria Cs, então:

$$Us = M \text{ e } Un = 0 \quad ...(8)$$

b) Se Pn age conforme categoria Cn e Ps aceita, então:

$$Us = M - Qt \text{ e } Un = M - Qp \quad …(9)$$

c) Se Pn age conforme categoria Cn e Ps protesta, então:

$$Us = M - (Qtt/N) \text{ e } Un = M - Qp - (Qpt/N) \quad ...(10)$$

Onde Us e Un, das equações (8), (9) e (10), são as utilidades de Ps e Pn, respectivamente, M é a necessidade de consumo do indivíduo Ps, Qt é a quantidade total de recursos existente na posição onde o indivíduo se encontra, Qp é a quantidade de recursos da posição não permitida para extração (quantidade reservada ou protegida), Qtt é a quantidade total de recursos existentes no ambiente, Qpt é a quantidade total de recursos não permitida para a extração no ambiente e N é o número de indivíduos existente no ambiente no ciclo de simulação em questão.

O quadro 03 apresenta de maneira sumarizada as variáveis pertencentes ao modelo decisório, baseado no modelo de funções utilidades de Akerlof e Kraton (2000), quanto ao comportamento a ser adotado pelos indivíduos frente à regra de exploração do ambiente.

Pode ser entendido como um caso especial do modelo de Akerlof e Kraton (2000) aquele onde a punição é atribuída de maneira compulsória para os infratores da regra de exploração modelada.

A punição irrestrita de Pn, caso ele aja conforme a categoria Cn, independente de Ps aceitar ou protestar, ocorre por duas razões principais. A primeira razão se deve ao fato de o modelo proposto por esse estudo ter como objetivo analisar o comportamento individual – baseado na identidade de cada indivíduo – em relação à obediência às regras sociais existentes no grupo e às possíveis consequências no ambiente. A segunda razão está ligada ao pressuposto de que o grupo social modelado é relativamente pequeno, como proposto por Ostrom (2011), permitindo que um comportamento diferente ao da categoria predominante Cs seja percebido por todos os indivíduos do ambiente. Olson (1971) e Ostrom (2011) acreditam na possibilidade de maior eficiência das ações coletivas quando os grupos são reduzidos em termos de quantidade de membros, reforçando a justificativa de punição compulsória aos infratores da regra estabelecida.

Variável	Descrição da variável
Us	Utilidade do indivíduo que é predisposto a seguir as regras.
Un	Utilidade do indivíduo que não é predisposto a seguir as regras.
M	Necessidade de consumo do indivíduo predisposto a seguir as regras, calculado a cada ciclo da simulação.
Qt	Quantidade total de recursos existente na posição onde o indivíduo se encontra.
Qp	Quantidade de recursos reservada ou protegida da posição.
Qtt	Quantidade total de recursos existentes no ambiente.
Qpt	Quantidade total de recursos reservada ou protegida no ambiente.
N	Número de indivíduos existentes no ambiente no ciclo de simulação em questão.

Quadro 03 – Lista de variáveis do modelo decisório e suas descrições.
Fonte: Autor

Com exceção de N que é adimensional, todas as demais possuem como dimensão "unidades de recursos", dessa forma, é possível a realização de todos os cálculos sem preocupações quanto a conversões de medidas. No modelo proposto, assim como nos modelos de Epstein e Axtell (1996) e de Morano e Moraes (2013), unidades de recursos representam a razão da existência e a motivação principal dos indivíduos.

A decisão de Pn com relação a que comportamento adotar resulta da combinação dos valores assumidos pelas variáveis do modelo no momento da sua tomada de decisão. Desta forma:

a) Pn age conforme a categoria Cs, quando:
   $(M < Qp)$ ou $[(Qtt/N) < Qt$ e $Qp < M < Qp + (Qpt/N)]$ ...(11)
b) Pn age conforme a categoria Cn, quando:
   $[(Qtt/N) < Qt$ e $Qp + (Qpt/N) < M]$ ou $[Qt < (Qtt/N)$ e $Qp < M]$ ...(12)

O indivíduo pertencente à categoria Cn, ao se movimentar para uma nova posição irá extrair somente a quantidade permitida se as condições de (11) forem atendidas. Toda quantidade de recursos existentes na posição será extraída se as condições de (12) forem

atendidas. Pn será punido compulsoriamente caso extraia toda a quantidade de recursos existentes na posição.

A variável M faz papel análogo à utilidade máxima do indivíduo, ou seja, seu consumo de recursos a cada ciclo da simulação. As variáveis Qt e Qp são análogas às variáveis Io e Is, das equações (2) e (3). A variável Qt representa o valor perdido por Ps na situação em que Pn extrai toda a quantidade de recursos disponíveis na posição e a variável Qp representa a quantidade de recursos que deixa de ser aprovisionada para eventual uso futuro por Pn, uma vez que ele não agiu conforme a regra de exploração dos recursos disponíveis.

As razões Qtt/N e Qpt/N são os fatores de caráter coletivo, ligados aos mecanismos de reforço que ocorrem pela quantidade de pessoas que agem ou não conforme a categoria predominante. São análogas a C e L da equação (3) e representam a quantidade média de recursos total disponível e total reservada do ambiente.

5.5 Parâmetros ligados ao modelo decisório

Uma vez criado o modelo decisório quanto ao comportamento a ser adotado por cada indivíduo frente à existência de uma regra de exploração do ambiente, surge a necessidade da criação de dois parâmetros adicionais aos parâmetros básicos do modelo proposto, como pode ser visualizado no quadro 04. O primeiro, chamado “percentual de seguidores” às regras, é do tipo parâmetro geral ou de observador, e o segundo, chamado “período de punição inicial”, é do tipo parâmetro dos indivíduos.

Os indivíduos criados na inicialização da simulação recebem categorização, Cs ou Cn, quanto à predisposição de seguir ou não a regra imposta que regulamenta a quantidade permitida de consumo de recursos a cada ciclo da simulação. O parâmetro porcentual de seguidores das regras determina qual a proporção inicial de indivíduos pertencentes à categoria Cs e, consequentemente, a proporção de indivíduos pertencentes à categoria Cn. Com esse parâmetro é possível simular cenários onde há equilíbrio de número de indivíduos da categoria Cn e Cs e cenários onde há predominância de indivíduos de certa categoria.

A existência de uma predisposição nos indivíduos por seguir ou não seguir a regra alinha-se ao modelo de categorias proposto por Akerlof e Kraton (2000). Os indivíduos que seguem a regra pertencem à categoria predominante, assim como os não seguidores das regras pertencem a uma categoria antagônica à primeira. Os indivíduos decidem seguir ou não a regra

de exploração do ambiente baseados nas categorias a que pertencem, nas ponderações possíveis das variáveis que compõem suas funções utilidades e nos mecanismos sociais de reforço discutidos por Centola, Willer e Macy (2005).

O quadro 4, a seguir, descreve os parâmetros básicos do modelo proposto no presente estudo.

Parâmetros básicos	**Descrição do parâmetro**
Porcentual de seguidores	Determina qual a proporção inicial de indivíduos pertencentes à categoria Cs.
Período de punição inicial	Número de ciclos que um indivíduo em sua primeira punição fica sem poder extrair recursos de sua posição.

Quadro 04 – Parâmetros ligados ao modelo decisório usados na inicialização da simulação.
Fonte: Autor

Os indivíduos que desrespeitam a regra de exploração dos recursos comuns recebem uma punição: a impossibilidade de explorar os recursos por um determinado período de ciclos. Ostrom (2011) afirma que é comum, em muitas comunidades que se autoregularizam, a punição ser a impossibilidade de exploração de recursos por certo intervalo de tempo, previamente estipulado.

A punição de cada indivíduo é progressiva, ou seja, aumenta a cada nova infração, e parte de um número inicial de ciclos que será definido na inicialização por meio do parâmetro "período de punição inicial". Dessa forma, tal parâmetro determina o número de ciclos que um indivíduo em sua primeira punição fica sem poder extrair recursos de sua posição.

Olson (1971), Ostrom (2011), entre outros autores, acreditam que fenômenos institucionais podem garantir o surgimento e aplicação de regras que permitem que os objetivos comuns possam ser alcançados, nesse caso o controle da exploração dos bens comuns. Olson (1971) e Ostrom (2011) ainda acrescentam à discussão a possibilidade de maior eficiência das ações coletivas quando os grupos são reduzidos em termos de quantidade de membros.

5.6 Processo de inicialização da simulação

Segundo Queiroz (2010), a inicialização ou *setup* do ambiente é fundamental. O resultado da simulação é fortemente dependente de seus parâmetros e regras iniciais estabelecidas.

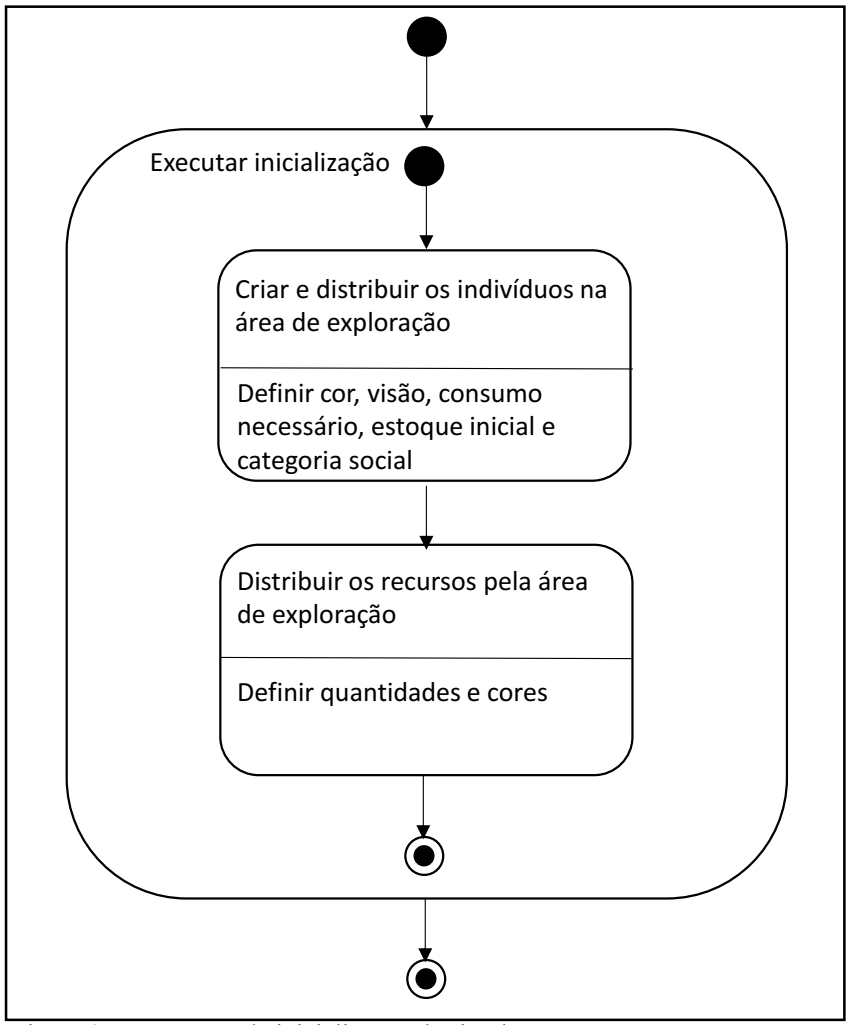


Figura 07 – Processo de inicialização da simulação.
Fonte: Autor.

O processo de inicialização desenvolvido para o modelo de SBA proposto é apresentada de maneira gráfica por meio de Diagramas de Atividades e Estado. Tais diagramas são ferramentas úteis, normalmente utilizadas para modelar um comportamento discreto em sistemas com estados finitos e para mostrar o ciclo de vida de um objeto (SILVA, 2012).

Durante a inicialização da simulação, os indivíduos e os recursos são criados e distribuídos pelo ambiente de maneira aleatória.

Como pode ser observado na figura 07, o processo de inicialização (*setup*) consta apenas das atividades referentes à criação dos indivíduos e do ambiente de exploração de recursos, com suas características ou variáveis básicas. As características dos indivíduos são determinadas pelos parâmetros básicos e pelo modelo decisório descritos anteriormente.

5.7 Processo de execução do modelo

Assim como no processo de inicialização da simulação, o processo de execução conta com regras definidas pelos parâmetros básicos e por regras baseadas na revisão de literatura realizada ao longo do desenvolvimento do trabalho. Os parâmetros do modelo decisório e suas regras também complementam o processo de execução.

Durante a execução da simulação, a cada ciclo, os indivíduos devem se movimentar e se apropriar dos recursos da nova posição, de acordo com sua decisão de seguir ou não a regra estabelecida de exploração de recursos. Os indivíduos que não seguem a regra recebem uma punição que não lhes permite apropriação de recursos por um período de ciclos. Todos os indivíduos devem descontar seu consumo necessário do estoque de recursos a cada ciclo da simulação, independentemente de estarem sob punição ou não.

O ambiente deve se recompor de acordo com a taxa de regeneração previamente estipulada, após todos os indivíduos no ciclo da simulação em questão terem se movimentado, ter sido determinado seu comportamento, extraídos os recursos da posição ou ter cumprido sua punição e recalculado seu estoque.

Após todas as posições do ambiente de exploração terem seus recursos acrescidos, conforme taxa de regeneração, o processo de simulação é novamente iniciado com a execução de todas as regras dos indivíduos. A simulação será finalizada quando o número de ciclos atingir o número máximo de ciclos (parâmetro básico do modelo) ou se o número de indivíduos resultantes ao final do ciclo for igual a zero.

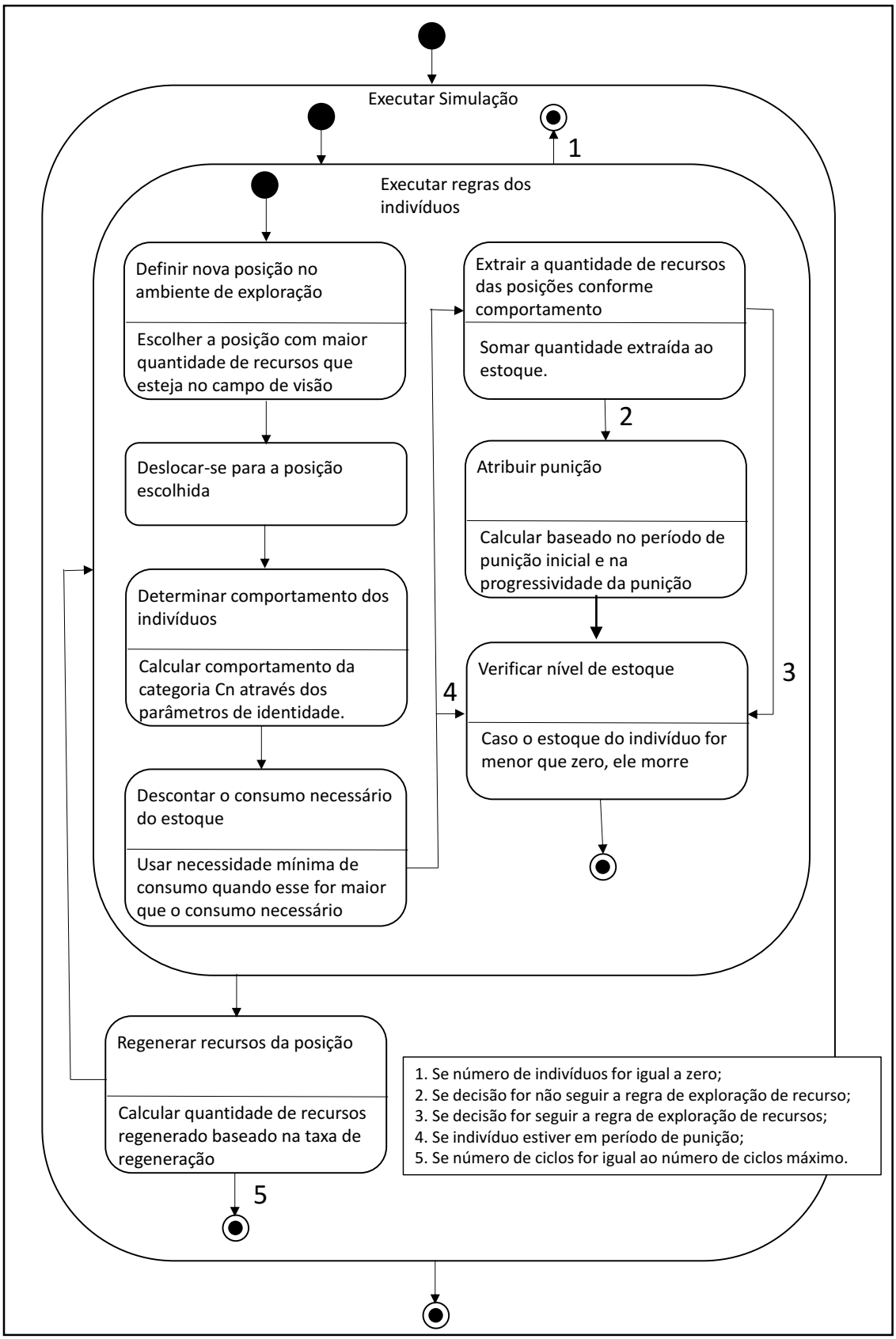


Figura 08 – Processo de execução da simulação.
Fonte: Autor.

A figura 08 apresenta o processo de execução da simulação com suas atividades principais e algumas regras e parâmetros importantes que determinam o comportamento das variáveis existentes no modelo e as estruturas sociais decorrentes.

6 EXECUÇÃO DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentadas primeiramente as análises, chamadas preliminares, que dão conta das primeiras constatações e do processo de calibração dos parâmetros básicos que não fazem parte do conjunto de parâmetros alvo do estudo.

Em seguida, são apresentadas as análises dos cenários que dão conta do comportamento do grupo frente à regra de exploração do ambiente e à escassez de recursos e suas consequências. Assim é possível verificar os cenários e/ou combinação de parâmetros que determinam a emergência de um grupo sobrevivente e autossuficiente, em termos de recursos, ou o surgimento da tragédia dos comuns, com o desaparecimento dos indivíduos inicialmente criados no ambiente.

Fechando o capítulo, são apresentadas as análises complementares que pretendem discutir o comportamento quanto à decisão de seguir ou não a regra de exploração de recursos. Tal comportamento é baseado nas funções utilidade dos indivíduos e nas variáveis de identidade, conforme modelo de Akerlof e Kraton (2000).

O modelo foi desenvolvido na plataforma NetLogo®, versão 5.0.5, e as análises estatísticas foram executadas por meio do *software* IBM SPSS Statistics®, versão 20.0.

6.1 Pressupostos assumidos

Os parâmetros “consumo necessário”, “necessidade mínima de recursos”, “visão” e “estoque inicial de recursos” foram mantidos constantes e fixados com o mesmo valor para todos os indivíduos em todas as simulações realizadas.

Essa medida foi tomada por ser objetivo deste estudo simular o comportamento dos indivíduos em relação à regra de exploração de recursos comuns, às punições aos infratores e às estruturas sociais emergentes em um ambiente com recursos naturais escassos e renováveis.

Mantendo-se os parâmetros básicos dos indivíduos constantes em todas as simulações realizadas, há pouca influência nos resultados finais obtidos. Assim, é possível isolar os efeitos que o modelo se propõe a tratar, facilitando as análises e conclusões quanto ao comportamento dos indivíduos, baseado em identidade e nos efeitos das instituições, representadas pela regra de exploração na sociedade emergente.

Pelo mesmo motivo citado anteriormente, a quantidade de recursos disponíveis em cada uma das 2601 posições do ambiente de exploração (quadrado de 51 por 51) também é fixa e constante para todos os cenários. Dessa forma, uma eventual morte pelo nascimento em uma região com pouco recurso é evitada.

Com a fixação, para todos os indivíduos, dos valores dos parâmetros básicos citados e da quantidade de recursos disponíveis em cada uma das posições do ambiente de exploração, é possível verificar a redução do número de indivíduos, e decorrente estruturação da sociedade emergente, em termos dos aspectos a serem estudados nesse trabalho e não por questões aleatórias decorrentes dos atributos e posição geográfica associados aos indivíduos no momento de seus nascimentos.

A aleatoriedade de variáveis necessárias para a concepção do modelo de simulação, mas que não estão diretamente relacionados com os fenômenos alvo do estudo, pode distorcer as análises e comprometer as conclusões, como discutido por Epstein (2008) e visto no trabalho de Morano e Moraes (2013).

O quadro 05 mostra os valores dos parâmetros básicos adotados para o desenvolvimento do modelo proposto neste estudo.

Parâmetro	**Valor fixado**
Consumo necessário	40% do estoque existente
Necessidade mínima de recursos	0,5 unidades de recurso
Visão	20 posições
Estoque inicial de recursos	1 unidade de recurso
Quantidade permitida para extração	80% dos recursos disponíveis na posição
Quantidade de recursos disponível em cada posição do ambiente	5 unidades de recurso
Número máximo de ciclos	300 ciclos

Quadro 05 – Valores de parâmetros fixados durante as simulações.
Fonte: Autor

O valor do parâmetro “visão” foi mantido relativamente alto, permitindo que cada indivíduo consiga visualizar praticamente todo o ambiente de exploração a cada ciclo da

simulação. Dessa forma, o pressuposto de que o grupo é pequeno e que todos podem ver uma infração da regra de exploração por parte de qualquer indivíduo é mantida. Essa medida também permite que todos os indivíduos possam procurar e eventualmente se apropriar dos recursos existentes em todo o ambiente.

Os valores dos parâmetros “consumo necessário” e “necessidade mínima de recursos” foram arbitrados após vários testes iniciais aleatórios e fixados de tal sorte a não promoverem uma morte em massa inicial por serem muito baixos. A quantidade de recursos disponíveis em cada uma das posições foi definida em acordo com esses dois parâmetros pela mesma razão e da mesma maneira.

O parâmetro “estoque inicial de recursos” de cada indivíduo foi fixado com o valor de 1 unidade.

O número máximo de ciclos foi fixado em 300. Foi constatado que claramente a simulação encontra-se em situação de regime com esse número de ciclos decorridos. Caso ocorra a situação de morte de todos os indivíduos (tragédia dos comuns) antes desse número de ciclos, a simulação é interrompida.

O ambiente artificial criado tem capacidade fixa, ou seja, número de posições e quantidade de recursos em cada posição são fixos, tornando a quantidade de indivíduos criados inicialmente determinante para a caracterização da escassez de recursos. A razão entre o total de recursos disponível no ambiente e o número inicial de indivíduos pode evidenciar a escassez necessária para a determinação dos cenários de simulação necessários para esse estudo.

Como visto anteriormente, durante a descrição do modelo, normalmente 20% das áreas produtivas devem ser preservadas. Dessa forma, em alinhamento com essa prática legal brasileira, foi estabelecido para o parâmetro “quantidade permitida para extração” o valor fixo de 80%.

Segundo Ostrom (2011), as comunidades pequenas que apresentam autocoordenação quanto à exploração e à preservação dos recursos naturais comuns possuem de 50 a 15.000 indivíduos. Tal intervalo varia de acordo com a região e a quantidade de recursos disponíveis para serem explorados. A autora complementa, definindo que os recursos são mais do tipo renováveis do que não renováveis e as situações são de escassez e não de abundância. Os usuários dos bens, neste estudo, denominados indivíduos, podem trazer danos aos demais pelo uso excessivo dos recursos comuns.

Como pode ser visualizado na figura 09, foi variado o NI (número de indivíduos), de acordo com o intervalo definido por Ostrom (2011) e restrito pelo tamanho do ambiente artificial (2601 posições). Foram também calculadas a RNINM (razão entre o número de

indivíduos e o número máximo de indivíduos possível no ambiente) e a RNIQT (razão entre o número de indivíduos e a quantidade inicial total de recursos, capacidade máxima, do ambiente de exploração).

Quantidade inicial total de recursos			13005
Numero máximo de indivíduos			2600
NI	**RNINM**	**RNIQT**	**Escassez**
5	0,2%	2601,0	
52	2,0%	250,1	
520	20,0%	25,0	
650	25,0%	20,0	
875	33,7%	14,9	**X**
1040	40,0%	12,5	**X**
1300	50,0%	10,0	**X**
1560	60,0%	8,3	**X**
1750	67,3%	7,4	**X**
1950	75,0%	6,7	**X**
2080	80,0%	6,3	**X**
2600	100,0%	5,0	**X**

Figura 09 – Cálculo de escassez do ambiente.
Fonte: Autor.

Alguns testes iniciais aleatórios mostraram que valores abaixo de 875 para o parâmetro "número inicial de indivíduos" garantem a sobrevivência geral de todos ou quase todos os indivíduos, independente de seus comportamentos, devido à abundância relativa de recursos disponíveis no ambiente.

Assim, foi definido que a escassez ocorre quando a razão RNIQT é inferior ou igual a 15, ou seja, a escassez sugerida por Ostrom (2011) sobrevém neste estudo se, em média, houver 15 unidades de recursos, ou algum valor inferior a esse, para cada indivíduo do ambiente de exploração. Para valores do parâmetro "número inicial de indivíduos" acima de 1950, verificou-se uma escassez tão acentuada que nenhum indivíduo sobreviveu em qualquer combinação de parâmetros. Dessa forma, o intervalo utilizado para o parâmetro "número inicial de indivíduos" foi de 875 a1975.

Não foi possível, em um primeiro momento, definir um valor fixo de taxa de regeneração para o ambiente. A renovação de ambientes explorados depende de vários fatores ambientais e não ambientais. Desse modo, tal parâmetro não foi fixado previamente. Nos testes aleatórios iniciais realizados, verificou-se que a faixa de 5% a 7,5% em relação à quantidade

máxima de recursos de cada posição do ambiente garante a situação de escassez. Taxas menores que as do intervalo determinado levam irrestritamente à morte de todos os indivíduos, independentemente de seus comportamentos.

É intuitivo concluir que quanto maior a punição, maior a dificuldade de indivíduos que não seguem a regra sobreviverem, mas o exato intervalo de valores possíveis para o parâmetro "período de punição inicial" não foi previamente definido. Foi determinado, de maneira arbitrária, que os valores do parâmetro variam entre 0 e 3 ciclos.

6.2 Análises preliminares

Para as análises preliminares, foram realizadas 360 simulações, variando-se alguns dos parâmetros do modelo conforme descrito no quadro 6. Os demais parâmetros foram mantidos fixos, como apresentado anteriormente. Para cada uma das simulações foram obtidos o número de indivíduos sobreviventes pertencentes à categoria 1 (categoria predominante), à categoria 2 e ao total (soma de indivíduos da categoria 1 e categoria 2). A tabela com os valores obtidos e os parâmetros que variaram nas simulações realizadas se encontra no anexo C.

Parâmetro do modelo	**Valores simulados**
Número inicial de indivíduos	Intervalo entre 875 e 1950 indivíduos
Taxa média de regeneração	Intervalo entre 5% e 7,5%
Porcentual de seguidores	Intervalo entre 0% e 100%
Período de punição inicial	Intervalo entre 0 e 3 ciclos

Quadro 06 – Intervalos de variação dos parâmetros não fixados durante as simulações.
Fonte: Autor

Cada uma das combinações de valores de parâmetros foi executada três vezes para garantir que um eventual efeito aleatório isolado não prejudicasse as análises. Avaliou-se, por meio de regressão linear múltipla, método *Enter*, a dependência entre o número final de indivíduos, tanto da categoria 1 como da categoria 2, e os quatro parâmetros descritos no quadro

06. Esses resultados, ilustrados na figura 10, apresentam algumas características sobre a sociedade artificial emergente.

	Número final de indivíduos			
	Categoria 1		Categoria 2	
	Beta	Sig.	Beta	Sig.
Número inicial de indivíduos	-0,238**	0,000	-0,132**	0,001
Taxa de Regeneração	0,380**	0,000	0,233**	0,000
Percentual de Seguidores	0,085*	0,024	-0,358**	0,000
Período de Punição inicial	0,533**	0,000	-0,452**	0,000
ANOVA	F(4;355)=89,382**		F(4;355)=68,777**	
R2 Ajustado	0,496		0,43	

* p < 0,05 ** p < 0,01

Figura 10 – Avaliação quanto ao número de sobreviventes das categorias 1 e 2.
Fonte: Autor.

Foi encontrada relação/associação significante, com valor de alfa (valor-p), abaixo de 5%, entre o número final de indivíduos da categoria 1 (variável dependente) e os demais parâmetros. O resultado da regressão linear pode ser observado na figura 10. Os resíduos obtidos tiveram comportamento muito próximo de normalmente distribuído e o valor encontrado para a variável "R quadrado ajustado", que indica, nesse caso, o quanto a variação do número final de indivíduos da categoria 1 é explicado pelos demais parâmetros, foi de cerca de 50%. Dos resultados encontrados é possível concluir que:

a) Quanto maior o número inicial de indivíduos, menor o número de sobreviventes da categoria 1. Quanto maior a escassez devido ao contingente inicial, menor as chances de sobrevivência;
b) Quanto maior a taxa de regeneração, maior o número de sobreviventes da categoria 1. Quanto mais rápido o ambiente se renova, maiores as chances de sobrevivência de indivíduos que dependem dele;
c) Quanto maior o número inicial de seguidores da regra de exploração, maiores as chances de sobrevivência de indivíduos da categoria 1. O coeficiente Beta

(coeficiente padronizado) é relativamente menor que os demais em termos de intensidade, mas ainda assim significante para as análises;

d) Quanto maior o período de punição inicial, maior o número de indivíduos da categoria 1 sobreviventes.

Entre o número final de indivíduos da categoria 2 e os demais parâmetros também foi encontrada relação/associação significante, com valor de alfa (valor-p), abaixo de 5%. O resultado da regressão linear também pode ser observado na figura 10. Os resíduos obtidos tiveram comportamento muito próximo de normalmente distribuído e o valor encontrado para a variável "R quadrado ajustado", que indica, neste caso, o quanto a variação do número final de indivíduos da categoria 2 é explicado pelos demais parâmetros, foi de cerca de 43%, pouco abaixo do encontrado na primeira análise. Dos resultados encontrados é possível concluir que:

a) Quanto maior o número inicial de indivíduos, menor o número de sobreviventes da categoria 2. Quanto maior a escassez devido ao contingente inicial, menores as chances de sobrevivência;
b) Quanto maior a taxa de regeneração, maior o número de sobreviventes da categoria 2. Assim como no caso dos sobreviventes da categoria 1, quanto mais rápido o ambiente se renova, maiores as chances de sobrevivência de indivíduos que dependem dele;
c) Quanto maior o número inicial de seguidores da regra de exploração, menores as chances de sobrevivência de indivíduos da categoria 2;
d) Quanto maior o período de punição inicial, menor o número de indivíduos da categoria 2 sobreviventes.

Os resultados encontrados, tanto para os sobreviventes da categoria 1 como da categoria 2, parecem lógicos e intuitivos. No caso do parâmetro "número inicial de indivíduos", para ambas as categorias, é de se esperar que seu aumento represente aumento de competição por recursos ou aumento da escassez do ambiente, reduzindo o número final de sobreviventes. O parâmetro "taxa de regeneração" tem ação oposta ao parâmetro anterior, uma vez que seu aumento representa a redução da escassez pela disponibilização mais rápida dos recursos para os indivíduos.

Os resultados obtidos do parâmetro "percentual de seguidores" são opostos entre as categorias 1 e 2. Quanto maior o número inicial de indivíduos da categoria 1 (seguidores da regra), maiores são suas chances de sobrevivência. Quanto maior o número de indivíduos da categoria 2, não seguidores da regra de exploração, menores são suas chances de sobrevivência.

Esse fato pode decorrer da punição que os indivíduos da categoria 2 recebem por seus comportamentos, pela acelerada exploração do ambiente, agravando a situação de escassez ou por ambos os casos.

O parâmetro "período de punição inicial" não influencia diretamente a sobrevivência dos indivíduos da categoria 1 porque esses não recebem punição. Porém, quando os indivíduos da categoria 2 estão recebendo suas punições e não exploram o ambiente, as chances de sobrevivência dos indivíduos da categoria 1 aumentam, tanto por haver mais recursos para serem explorados como por permitir a regeneração do ambiente nas posições onde os recursos não estão sendo explorados.

Os indivíduos da categoria 2, ao ser impedidos de explorar o ambiente (tendo mesmo assim que descontar seus consumos necessários para sobrevivência), reduzem suas chances de sobrevivência. Punições mais severas agravam ainda mais a situação de sobrevivência dessa categoria de indivíduos.

	Número final de indivíduos			
	Categoria 1 - Categoria 2		Total	
	Beta	Sig.	Beta	Sig.
Número inicial de indivíduos	-0,118**	0,003	-0,346**	0,000
Taxa de Regeneração	0,179**	0,000	0,567**	0,000
Percentual de Seguidores	0,216**	0,000	-0,137**	0,000
Período de Punição inicial	0,586**	0,000	0,294**	0,000
ANOVA	F(4;355)=76,072**		F(4;355)=103,220**	
R2 Ajustado	0,455		0,532	

* p < 0,05 ** p < 0,01

Figura 11 – Avaliação quanto ao número de sobreviventes da categoria 1 relativo e total.
Fonte: Autor.

A figura 11 apresenta os resultados obtidos da regressão linear múltipla, método *Enter*, do número final total de indivíduos e da diferença entre o número final de indivíduos da categoria 1 e 2 em relação aos parâmetros que foram variados ao longo das simulações.

Os resultados com relação ao número total de indivíduos complementam as análises preliminares realizadas. Já os resultados da diferença entre o número final de indivíduos das

categorias 1 e 2 permite avaliar se os parâmetros variados ao longo das simulações influenciam em intensidade diferente o número final de indivíduos de cada categoria.

Os quatro parâmetros analisados influenciam de maneira distinta o número final de indivíduos das categorias 1 e 2, uma vez que a diferença entre os dois se apresentou para todos os quatro coeficientes Beta significantes.

Entre o número final total de indivíduos e os demais parâmetros foi encontrada relação/associação significante, com valor de alfa (valor-p), abaixo de 5%. Os resíduos obtidos tiveram comportamento muito próximo de normalmente distribuído e o valor encontrado para a variável "R quadrado ajustado", que indica, nesse caso, o quanto a variação do número final de indivíduos é explicado pelos demais parâmetros, foi de mais de 50%. Dos resultados encontrados é possível concluir que:

a) Quanto maior o número inicial de indivíduos, menor o número de sobreviventes em geral. Quanto maior a escassez, menores as chances de sobrevivência de uma forma geral;
b) Quanto maior a taxa de regeneração, maior o número final de sobreviventes. Assim como no caso do número de sobreviventes das categorias 1 e 2, analisados isoladamente, quanto mais rápido o ambiente se renova, maiores as chances de sobrevivência de indivíduos que dependem dele;
c) Quanto maior o número inicial de seguidores da regra de exploração, menores as chances de sobrevivência de indivíduos de uma forma geral;
d) Quanto maior o período de punição inicial, maior o número de indivíduos sobreviventes ao final.

Os coeficientes Beta dos parâmetros "número inicial de indivíduos" e "taxa de regeneração", obtidos da regressão linear múltipla, assim como nas análises anteriores, foram lógicos e intuitivos para a quantidade de sobreviventes de cada uma das categorias isoladamente.

Quanto ao parâmetro "período de punição inicial", a explicação para relação/associação positiva encontrada pode ser a mesma que a obtida com a regressão linear múltipla realizada para o número de indivíduos sobreviventes da categoria 1: enquanto os indivíduos da categoria 2 estão recebendo punições maiores e não exploram o ambiente por mais tempo, as chances de sobrevivência dos indivíduos da categoria 1 aumentam, fazendo com que a quantidade total de sobreviventes também aumente. A tabela com os dados gerados das simulações realizadas (anexo C) deixa claro que, na maioria dos casos em que houve um número significativo de

sobreviventes, estes eram essencialmente da categoria 1, corroborando a explicação desenvolvida.

Seria de se esperar, em um primeiro momento, que quanto maior o número inicial de seguidores da regra de exploração e maior a punição inicial aos infratores, maior seria o número total de sobreviventes ao final da simulação, de maioria da categoria 01. Os coeficientes Beta do parâmetro "percentual de seguidores" revelam que quanto maior o número de seguidores da regra, maior o número de sobreviventes da categoria 1, porém menor o número total de sobreviventes. A relação entre o número total de sobreviventes e os parâmetros "percentual de seguidores" e "período de punição" foi alvo de maior investigação nas análises de cenários realizados na sequência das análises preliminares.

6.3 Análises de cenários

Com base nos pressupostos assumidos e nas análises preliminares realizadas, foram destacados quarenta e oito cenários com combinação de parâmetros que representam de forma geral as estruturas emergentes possíveis do modelo construído. As figuras 12 e 13 apresentam os cenários idealizados e suas combinações de parâmetros.

Foram estabelecidos para o parâmetro "número inicial de indivíduos" dois valores, estando ambos dentro da faixa de escassez definida previamente. Esses valores representam aproximadamente um terço e dois terços, respectivamente, da ocupação total do ambiente de exploração. Assim, a escassez e a densidade populacional inicial foram representados nos cenários e possuíram variação significativa.

A faixa de valores do parâmetro "taxa de regeneração" assumida durante as análises preliminares se mostrou aderente aos pressupostos estabelecidos para o modelo construído. Foram adotados, dessa forma, os valores 4%, 5% e 7,5%, representando baixa, média e alta taxa de regeneração.

Nos cenários que representam situações onde não há indivíduos que seguem a regra de exploração do ambiente, os parâmetros "percentual de seguidores" e "período inicial de punição" recebem o valor zero. Não há sentido em se conceber um modelo para estudo de autocoordenação de grupo onde somente existam indivíduos não seguidores das regras recebendo punições. Quando o parâmetro "período inicial de punição" está com valor zero, o modelo assume que não há punição prevista, nem tampouco progressão da punição. Para esses

casos, o parâmetro “quantidade permitida para extração” perde seu sentido, já que todos os indivíduos extraem todos os recursos de suas posições.

Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
01	875	4%	0%	0
02	1750	4%	0%	0
03	875	4%	50%	0
04	1750	4%	50%	0
05	875	4%	75%	0
06	1750	4%	75%	0
07	875	4%	50%	1
08	1750	4%	50%	1
09	875	4%	75%	1
10	1750	4%	75%	1
11	875	4%	50%	3
12	1750	4%	50%	3
13	875	4%	75%	3
14	1750	4%	75%	3
15	875	4%	100%	0
16	1750	4%	100%	0
17	875	5%	0%	0
18	1750	5%	0%	0
19	875	5%	50%	0
20	1750	5%	50%	0
21	875	5%	75%	0
22	1750	5%	75%	0
23	875	5%	50%	1
24	1750	5%	50%	1

Figura 12 – Configuração dos cenários criados e analisados de 01 a 24.
Fonte: Autor.

Foi determinado para o parâmetro “percentual de seguidores” (que determina a quantidade de indivíduos da categoria 1 e, consequentemente, da categoria 2 na simulação em questão) os valores zero, 50%, 75% e 100%. Assim, pode ser simulada a situação de ausência de indivíduos da categoria 1 e situações com um grupo pequeno de indivíduos da categoria 2. Também podem ser simuladas situações nas quais existe equilíbrio entre os grupos em termos de quantidade de indivíduos. Como foi assumido que a categoria 1 é a predominante com comportamento comumente aceito, então devem ser simuladas situações nas quais tal categoria contenha maior número de indivíduos e a mesma quantidade de indivíduos da categoria 2.

Alguns cenários criados representam a situação na qual 100% dos indivíduos pertencem à categoria 1. Nesses cenários não existe punição, uma vez que nenhum dos indivíduos infringe a regra de extração.

Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
25	875	5%	75%	1
26	1750	5%	75%	1
27	875	5%	50%	3
28	1750	5%	50%	3
29	875	5%	75%	3
30	1750	5%	75%	3
31	875	5%	100%	0
32	1750	5%	100%	0
33	875	7,5%	0%	0
34	1750	7,5%	0%	0
35	875	7,5%	50%	0
36	1750	7,5%	50%	0
37	875	7,5%	75%	0
38	1750	7,5%	75%	0
39	875	7,5%	50%	1
40	1750	7,5%	50%	1
41	875	7,5%	75%	1
42	1750	7,5%	75%	1
43	875	7,5%	50%	3
44	1750	7,5%	50%	3
45	875	7,5%	75%	3
46	1750	7,5%	75%	3
47	875	7,5%	100%	0
48	1750	7,5%	100%	0

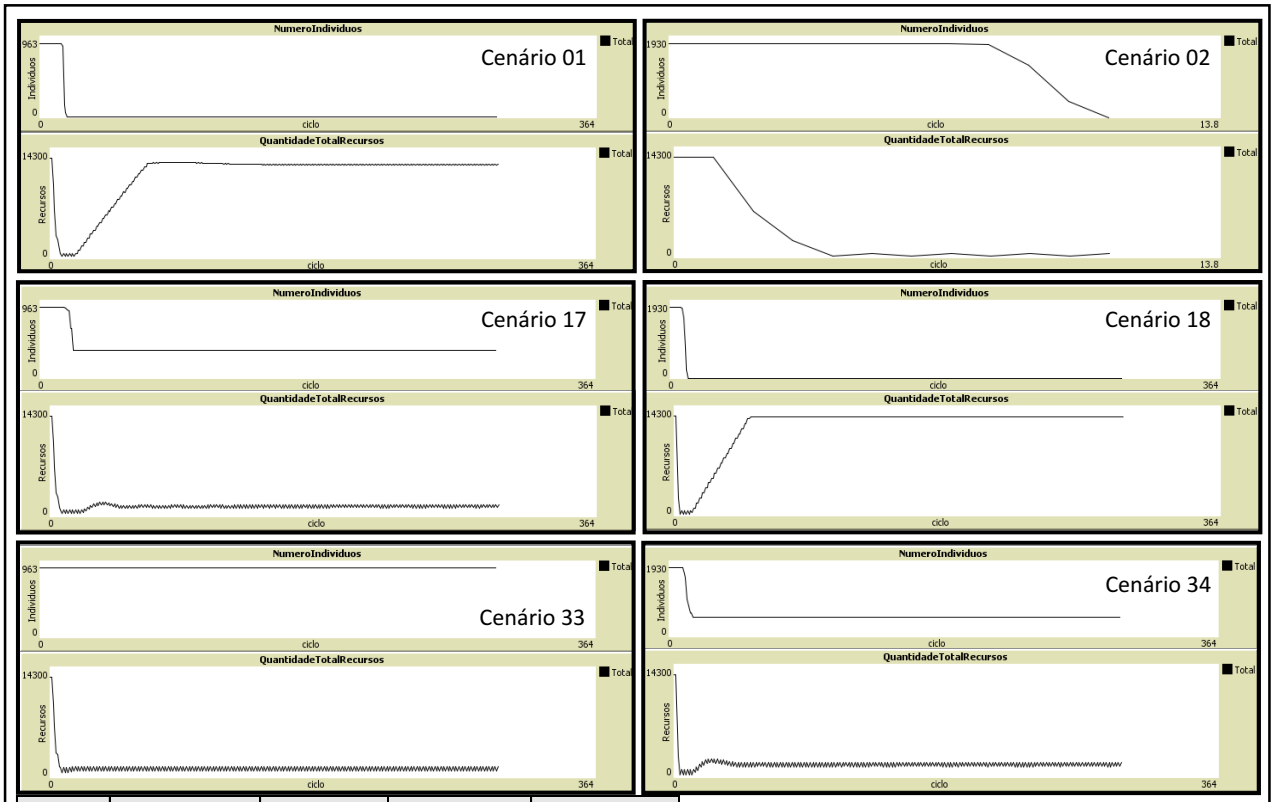
Figura 13 – Configuração dos cenários criados e analisados de 25 a 48.
Fonte: Autor.

Foram atribuídos para o parâmetro “período inicial de punição” os valores zero (como explicado anteriormente), 1 e 3. Dessa forma, o intervalo de variação do parâmetro fica representado em seus extremos de valores e em um valor intermediário.

As figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21 apresentam os gráficos gerados pelo *software*NetLogo®, para os cenários de 01 a 48, das variáveis “número total de indivíduos” e “quantidade total de recursos”, calculados a cada ciclo da simulação.

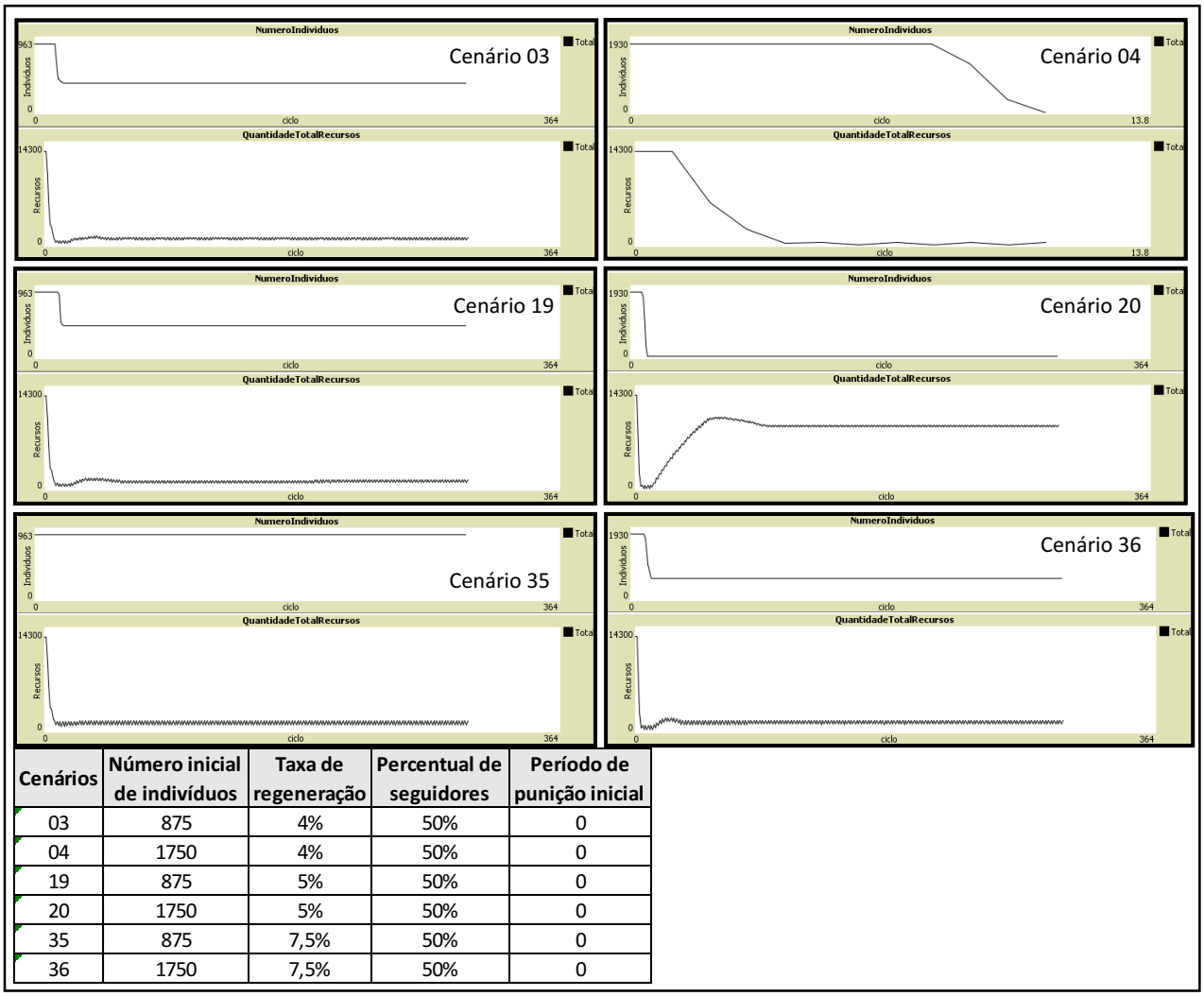
Cada figura foi desenvolvida agrupando-se seis cenários. Esses cenários agrupados possuem os mesmos valores dos parâmetros “percentual de seguidores” e “período de punição inicial”, variando-se apenas os parâmetros “número inicial de indivíduos” e “taxa de regeneração”.

Dois gráficos são exibidos para cada cenário apresentado em cada figura. O primeiro gráfico exibe, ao longo do tempo, a quantidade total de indivíduos, e o segundo a quantidade total de recursos do ambiente. Para os casos em que o número de indivíduos decai ao valor zero, a simulação é interrompida, como pode ser verificado no cenário 02, por exemplo.



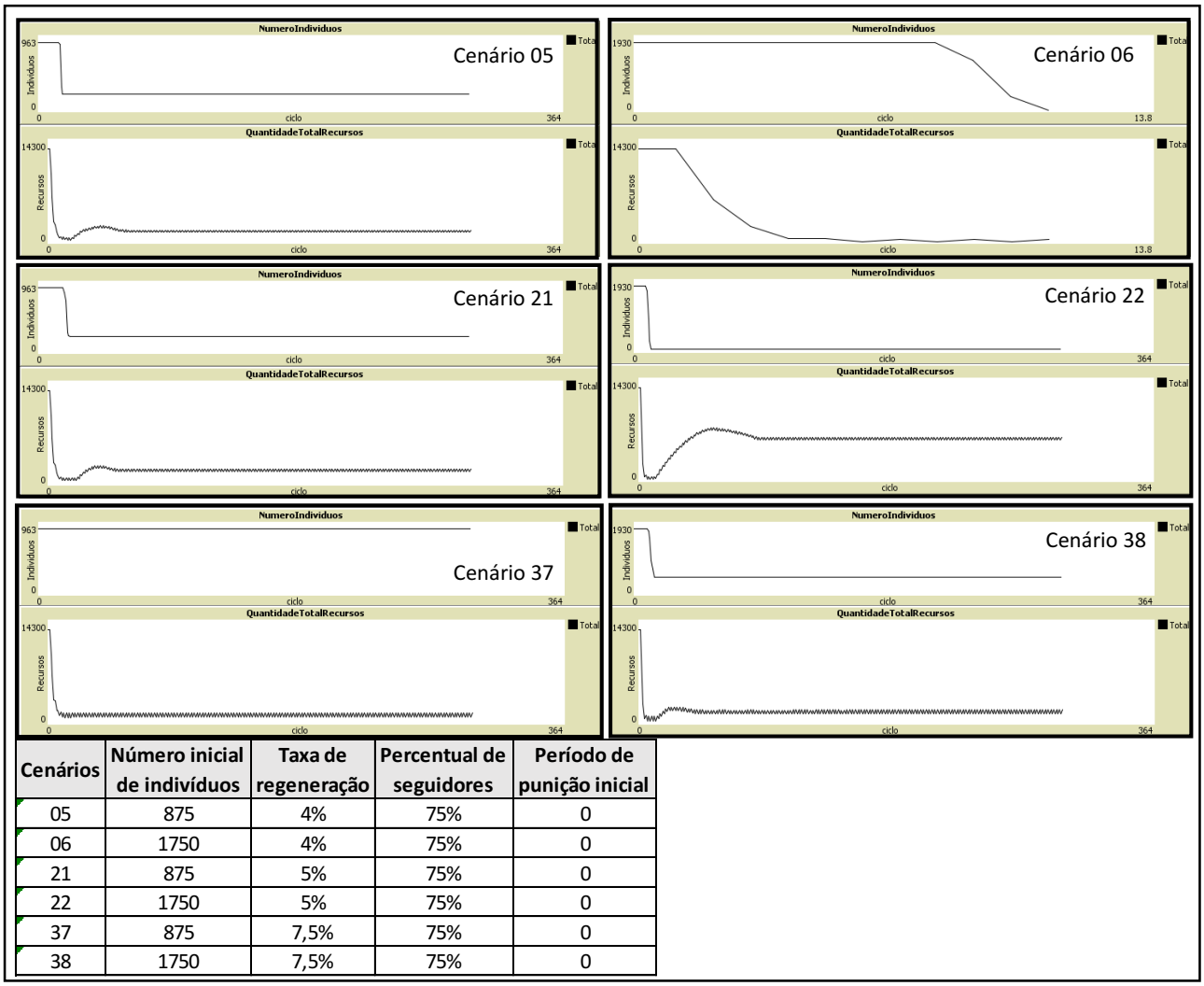
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
01	875	4%	0%	0
02	1750	4%	0%	0
17	875	5%	0%	0
18	1750	5%	0%	0
33	875	7,5%	0%	0
34	1750	7,5%	0%	0

Figura 14 – Resultados das simulações dos cenários 01, 02, 17, 18, 33 e 34.
Fonte: Autor.



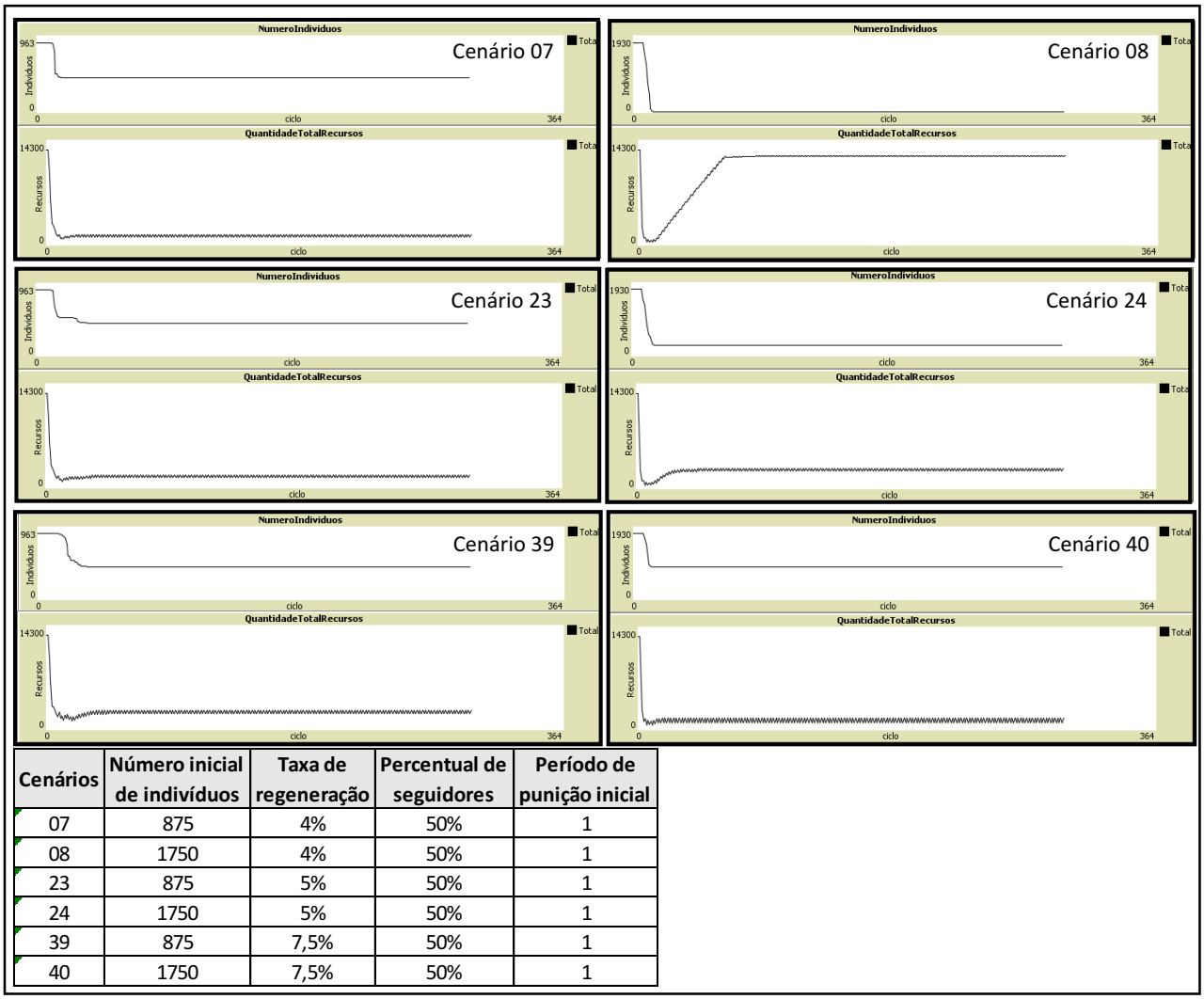
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
03	875	4%	50%	0
04	1750	4%	50%	0
19	875	5%	50%	0
20	1750	5%	50%	0
35	875	7,5%	50%	0
36	1750	7,5%	50%	0

Figura 15 – Resultados das simulações dos cenários 03, 04, 19, 20, 35 e 36.
Fonte: Autor.



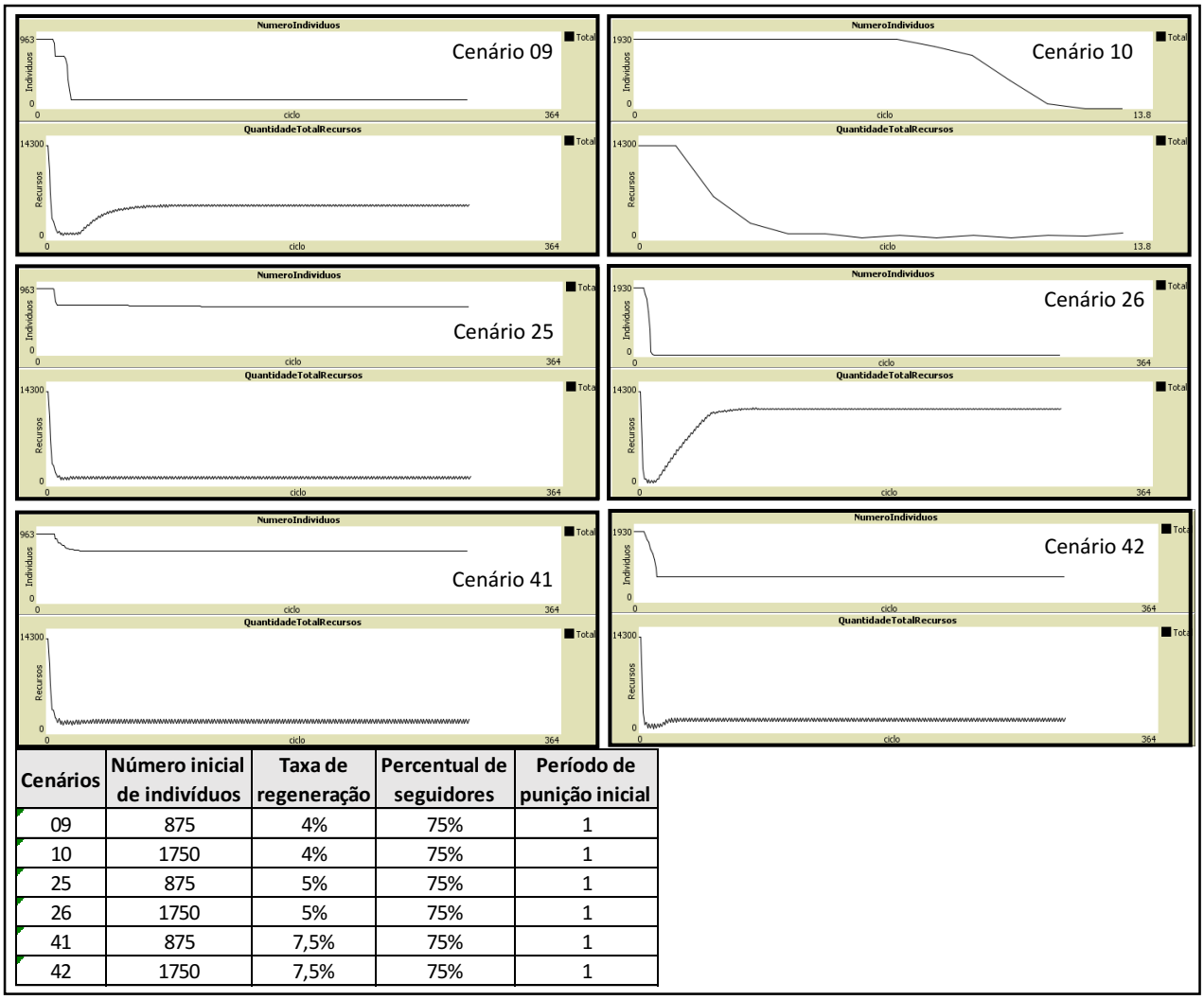
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
05	875	4%	75%	0
06	1750	4%	75%	0
21	875	5%	75%	0
22	1750	5%	75%	0
37	875	7,5%	75%	0
38	1750	7,5%	75%	0

Figura 16 – Resultados das simulações dos cenários 05, 06, 21, 22, 37 e 38.
Fonte: Autor.



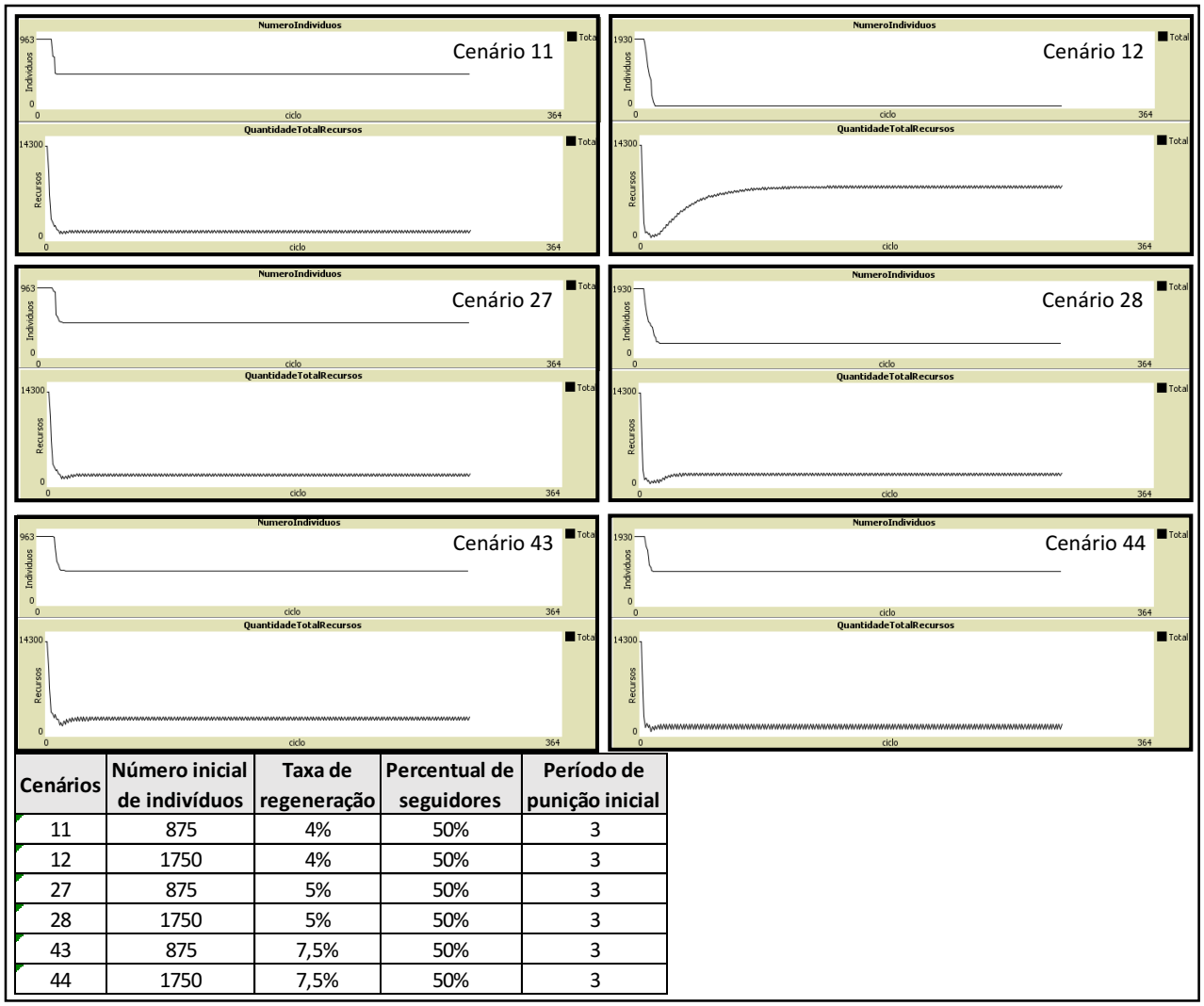
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
07	875	4%	50%	1
08	1750	4%	50%	1
23	875	5%	50%	1
24	1750	5%	50%	1
39	875	7,5%	50%	1
40	1750	7,5%	50%	1

Figura 17 – Resultados das simulações dos cenários 07, 08, 23, 24, 39 e 40.
Fonte: Autor.



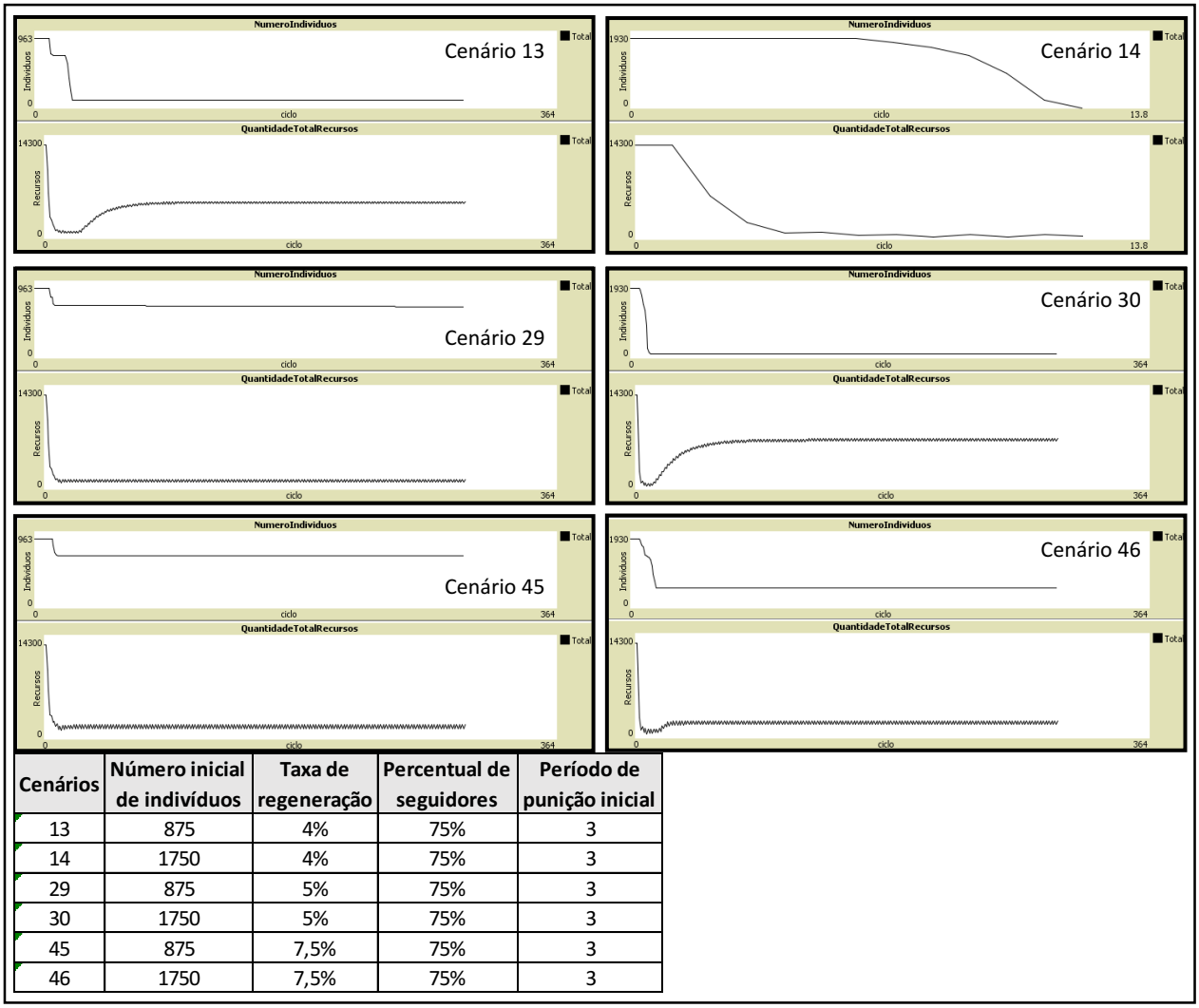
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
09	875	4%	75%	1
10	1750	4%	75%	1
25	875	5%	75%	1
26	1750	5%	75%	1
41	875	7,5%	75%	1
42	1750	7,5%	75%	1

Figura 18 – Resultados das simulações dos cenários 09, 10, 25, 26, 41 e 42.
Fonte: Autor.



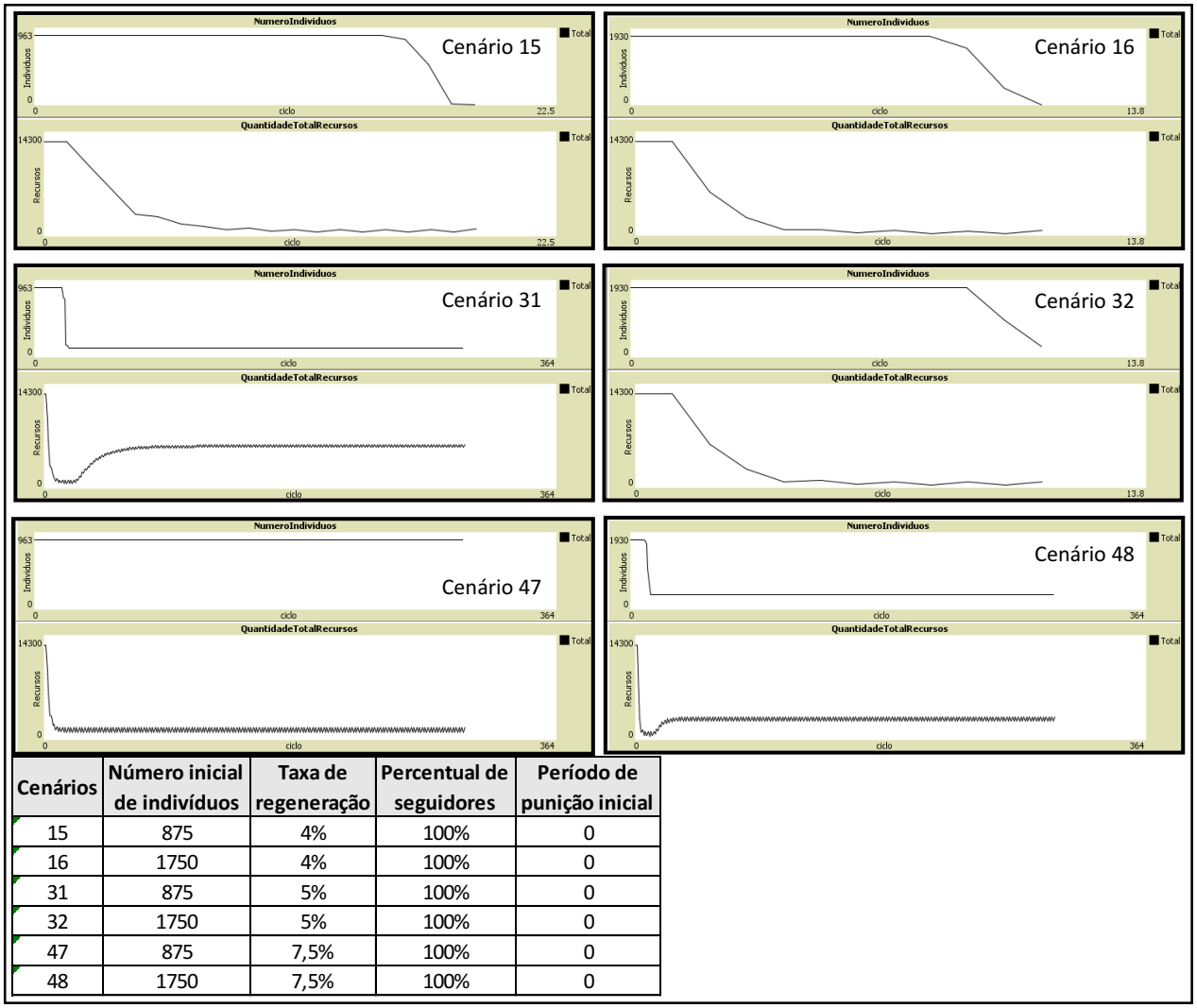
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
11	875	4%	50%	3
12	1750	4%	50%	3
27	875	5%	50%	3
28	1750	5%	50%	3
43	875	7,5%	50%	3
44	1750	7,5%	50%	3

Figura 19 – Resultados das simulações dos cenários 11, 12, 27, 28, 43 e 44.
Fonte: Autor.



Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
13	875	4%	75%	3
14	1750	4%	75%	3
29	875	5%	75%	3
30	1750	5%	75%	3
45	875	7,5%	75%	3
46	1750	7,5%	75%	3

Figura 20 – Resultados das simulações dos cenários 13, 14, 29, 30, 45 e 46.
Fonte: Autor.



Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
15	875	4%	100%	0
16	1750	4%	100%	0
31	875	5%	100%	0
32	1750	5%	100%	0
47	875	7,5%	100%	0
48	1750	7,5%	100%	0

Figura 21 – Resultados das simulações dos cenários 15, 16, 31, 32, 47 e 48.
Fonte: Autor.

A tragédia dos comuns, caracterizada pela extinção dos indivíduos antes do final dos 300 ciclos de simulação, foi encontrada em oito cenários (cenários 02, 04, 06, 10, 14, 15, 16, 32). Desses, sete foram cenários com o parâmetro “taxa de regeneração”, apresentando o valor de 4%. Dentre esses, apenas um cenário continha o parâmetro “número inicial de indivíduos” com valor de 875. A velocidade com que o ambiente se recompõe pode ser, independente de regras e comportamento, ponto fundamental para se estabelecer a sustentabilidade entre grupo e ambiente. Essa questão é acentuada pelo tamanho do grupo que, como discutido anteriormente, determina o grau de escassez de recursos presente no ambiente. Conforme a quantidade de indivíduos dependente do ambiente aumenta, mesmo que a velocidade de regeneração do ambiente seja relativamente alta, a escassez também aumenta, aumentando o risco de tragédia dos comuns.

Os cenários 01 e 18 tiveram o número de indivíduos sobreviventes praticamente nulos, abaixo de 1%. Os cenários 17 e 34 apresentaram número de sobreviventes expressivo. O número inicial de indivíduos do cenário 33 permaneceu inalterado durante toda a simulação. Esses cenários, juntamente com o cenário 02, são os que possuem 100% de indivíduos pertencentes à categoria 2. Não foi estabelecida punição e todos puderam extrair todos os recursos de suas posições no ambiente. Nesse contexto, a tragédia dos comuns ou sua eminência foram dependentes da maior escassez e/ou menores taxas de regeneração. O uso total dos recursos disponível no ambiente não parece ser a principal razão para o extermínio dos indivíduos dele dependentes. De qualquer maneira, pode-se perceber, nos cenários com número de indivíduos sobreviventes expressivo, que a quantidade total de recursos se mantém baixa, mas não se esgota.

Os cenários 03, 19, 20, 35, 36, 05, 21, 22, 37 e 38, com indivíduos da categoria 1 convivendo com da categoria 2, mas sem punição aos infratores, apresentaram sobreviventes. Somente os cenários 20 e 22 tiveram o número de indivíduos sobreviventes praticamente nulos, abaixo de 1%. Os cenários 07, 08, 23, 24, 39, 40, 09, 25, 26, 41 e 42, com indivíduos da categoria 1 convivendo com os da categoria 2, com punição ao infratores, também apresentou sobreviventes. O cenário 08 teve o número de indivíduos sobreviventes praticamente nulo, abaixo de 1%. Todos esses vinte e um cenários também parecem apontar que o número de indivíduos sobreviventes tem forte dependência da taxa de regeneração e do número inicial de indivíduos.

Quando comparados os cenários 04 com 08, 20 com 24 e 36 com 40, é possível perceber a influência da punição na quantidade de indivíduos sobreviventes. Esse efeito também é percebido, mesmo que em menor intensidade, quando comparados os cenários 06 com 10, 22 com 26 e 38 com 42. Nas situações de maior escassez, a punição aos que infringem a regra de extração garante um maior número final de sobreviventes, principalmente dos que pertencem àcategoria 1, predominante. Os cenários 21 e 25 reforçam o efeito da punição no modelo.

O efeito da punição não pode ser percebido quando comparados os cenários 03 com 07, 19 com 23 e 05 com 09. Quando a quantidade inicial de indivíduos é mais baixa, e a consequente escassez também é mais baixa, a punição tem pouca ou nenhuma influência no número de sobreviventes ao final.

Os cenários 35, 39, 37 e 41 apresentam resultados que apontam que o incremento da punição faz com que o número de indivíduos sobreviventes que era igual ao inicial caia um pouco, reforçando a influência positiva da punição somente em caso de escassez de recursos.

A severidade da punição, aqui representada pelo valor "3" do parâmetro "período inicial de punição", também influencia o número total de sobreviventes dos cenários com a quantidade inicial de indivíduos alta. Isso pode ser observado comparando-se o cenário 08 com 12, 28 com 28, 40 com 44, 26 com 30 e 42 com 46. Não foi verificada influência da punição quando comparados, respectivamente, os cenários 07, 23, 39, 09, 25 e 41 com os cenários 11, 27, 43, 13, 29 e 45 (todos esses com o número inicial de indivíduos baixo).

Os resultados da simulação dos cenários 16, 32 e 48, com 100% de indivíduos pertencentes à categoria 1 e valor mais alto para a quantidade inicial de indivíduos foram muito parecidos aos apresentados pelos cenários 02, 18, 34, com 100% de indivíduos pertencentes à categoria 2. Por sua vez, os cenários 01, 17 e 33, quando comparados, respectivamente, aos cenários 15, 31 e 47 apresentaram número total de sobreviventes maior, mesmo sendo formados por 100% de indivíduos pertencentes à categoria 2.

Esperava-se, intuitivamente, que o número de sobreviventes fosse menor para os casos em que o número inicial de indivíduos estivesse 100% formado por indivíduos da categoria 2. Essa expectativa deve-se ao fato de que a extração total dos recursos de cada posição do ambiente ocupada pudesse acentuar a redução do número final de indivíduos. Tais resultados confirmam o valor negativo de Beta encontrado nas análises preliminares, quando se verificou a relação/associação do número final total de indivíduos e o parâmetro "percentual de seguidores".

Apesar do nome do parâmetro em questão ser "percentual de seguidores", ele distribui pelo ambiente de exploração, durante o *setup*, certa quantidade de indivíduos pertencentes às categorias 1 e 2. Os indivíduos da categoria 1 sempre seguem a regra de extração de recursos. O comportamento dos indivíduos da categoria 2 quanto a seguir ou não a regra de exploração depende da combinação de certas variáveis ligadas à identidade em sua função utilidade, conforme modelado por Akerlof e Kraton (2000). Dessa forma, ainda são necessárias maiores análises, com o detalhamento das variáveis do modelo responsáveis pela determinação do comportamento dos indivíduos.

6.4 Análises de comportamento

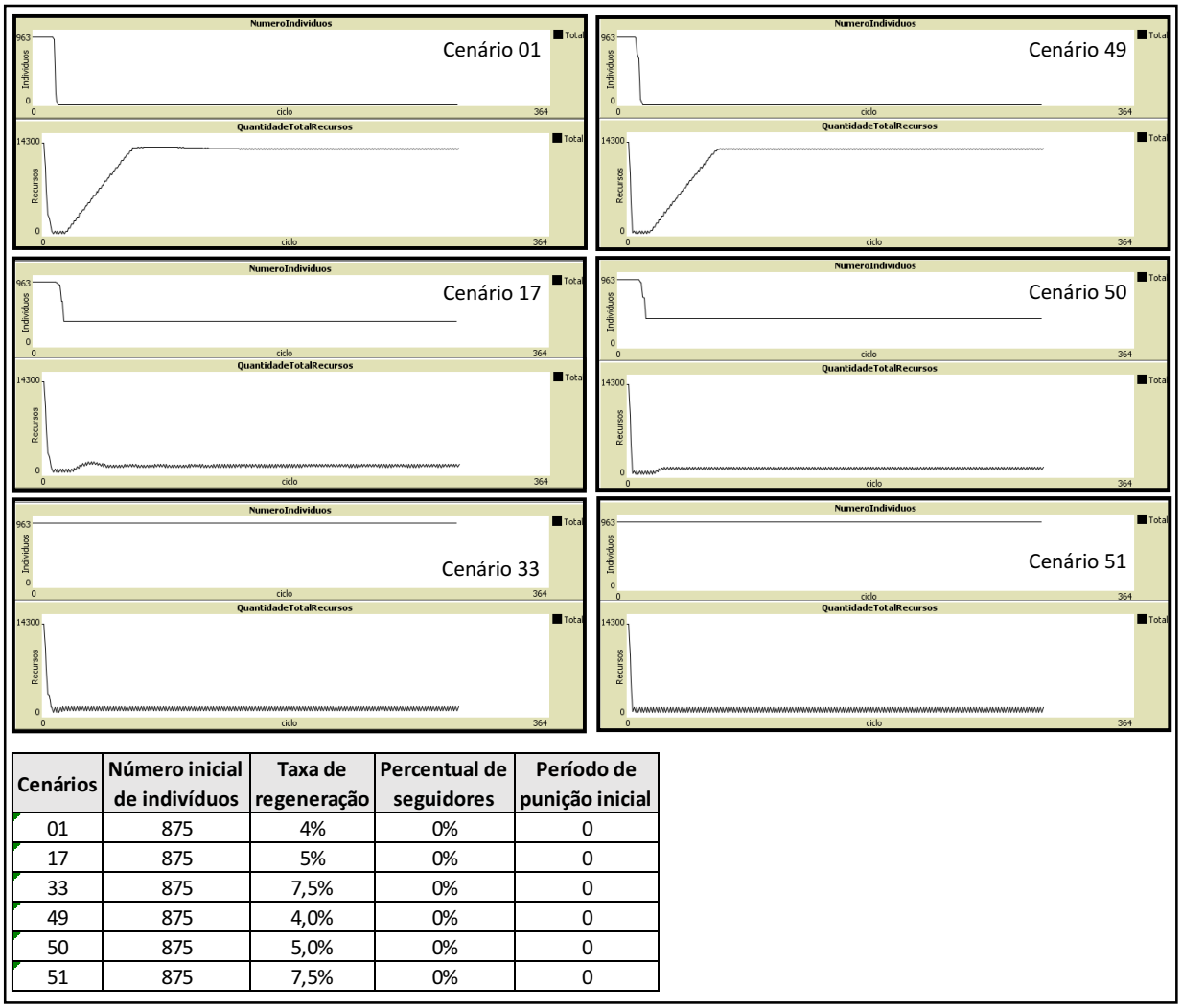
Os cenários que apresentam quantidade inicial de indivíduos em sua totalidade pertencentes à categoria 2 foram simulados, assim como todos os demais, contemplando o

modelo de identidade de Akerlof e Kraton (2000). Tais cenários não deveriam, a priori, obedecer ao modelo dos autores, uma vez que, no caso de 100% de membros da categoria 2, o comportamento dominante seria o de não seguir a regra de exploração. Dessa forma, incondicionalmente, todos os indivíduos deveriam extrair todos os recursos de suas posições, sem qualquer punição.

Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
49	875	4,0%	0	0
50	875	5,0%	0	0
51	875	7,5%	0	0
52	1750	4,0%	0	0
53	1750	5,0%	0	0
54	1750	7,5%	0	0

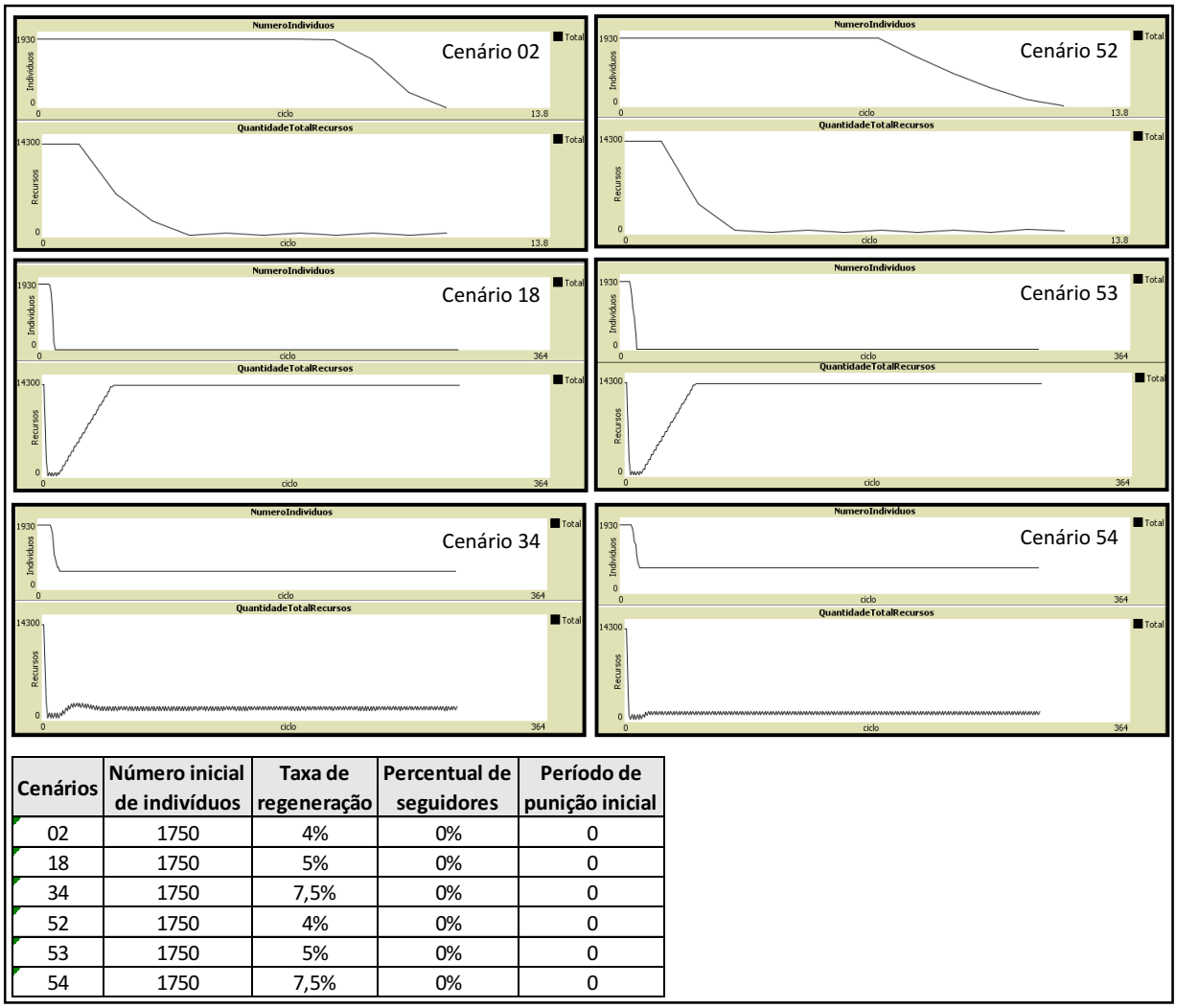
Figura 22 – Configuração dos cenários criados e analisados de 49 a 54.
Fonte: Autor.

Os cenários 01, 02, 17, 18, 33 e 34 que representam tais situações foram comparados, um a um, com seis novos cenários criados. Esses novos cenários (figura 22) são idênticos aos citados com relação aos parâmetros de inicialização, porém executados com um algoritmo alterado para que todos os indivíduos da categoria 2 infrinjam a regra de extração, independente da combinação de suas variáveis de identidade da função utilidade.



Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
01	875	4%	0%	0
17	875	5%	0%	0
33	875	7,5%	0%	0
49	875	4,0%	0%	0
50	875	5,0%	0%	0
51	875	7,5%	0%	0

Figura 23 – Primeira comparação entre cenários com 100% de indivíduos da categoria 2.
Fonte: Autor



Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
02	1750	4%	0%	0
18	1750	5%	0%	0
34	1750	7,5%	0%	0
52	1750	4%	0%	0
53	1750	5%	0%	0
54	1750	7,5%	0%	0

Figura 24 – Segunda comparação entre cenários com 100% de indivíduos da categoria 2.
Fonte: Autor

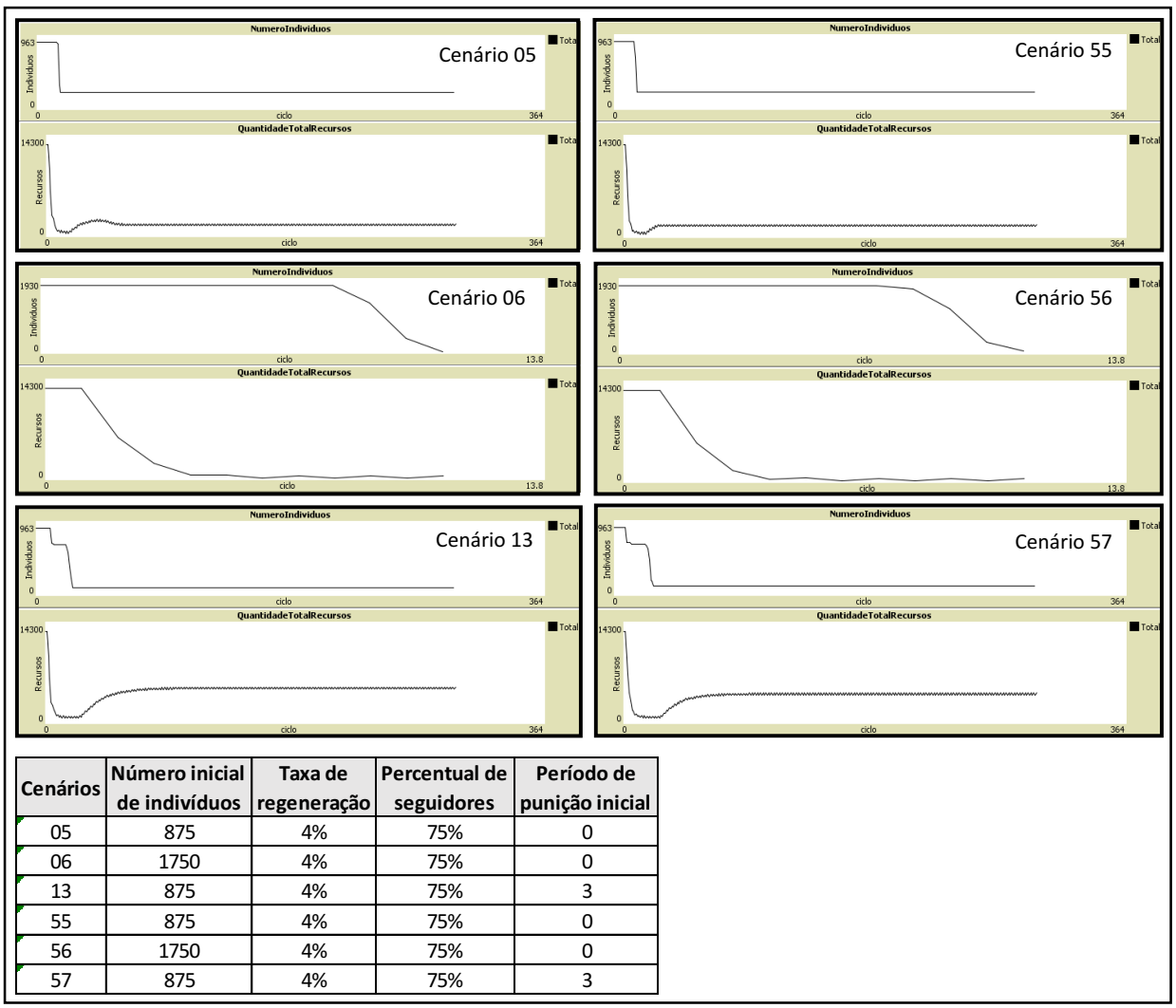
Os cenários que apresentam quantidade inicial de indivíduos em sua totalidade pertencentes à categoria 1 não necessitam de novos estudos, uma vez que tais indivíduos sempre seguem a regra de extração, independentemente das variáveis de identidade que compõem suas funções utilidades.

Os seis novos cenários, de 49 a 54, apresentaram resultados praticamente idênticos aos anteriormente simulados, como pode ser observado nas figuras 23 e 24. Para esses cenários, com 100% de indivíduos da categoria 2, a conclusão imediata obtida é a de que a composição das variáveis de identidade das funções utilidades dos indivíduos, baseadas no modelo de Akerlof e Kraton (2000), não geram nenhum comportamento diferente ao de infringir a regra de exploração. Assim, os cenários originais, propostos e simulados durante as análises de cenários, são válidos e representativos, mesmo sem as alterações de algoritmo realizadas.

Ainda com relação às variáveis de identidade, mais doze cenários foram criados (figura 25). Cenários esses idênticos, respectivamente, aos 05, 06, 13, 14, 21, 22, 29, 30, 37, 38, 45 e 46, em termos dos parâmetros de inicialização utilizados, porém executados com o algoritmo alterado para que todos os indivíduos da categoria 2 infrinjam a regra de extração, independente da combinação de suas variáveis de identidade da função utilidade. Essa comparação permite a verificação da influência do modelo de identidade nas sociedades emergentes ao final das simulações.

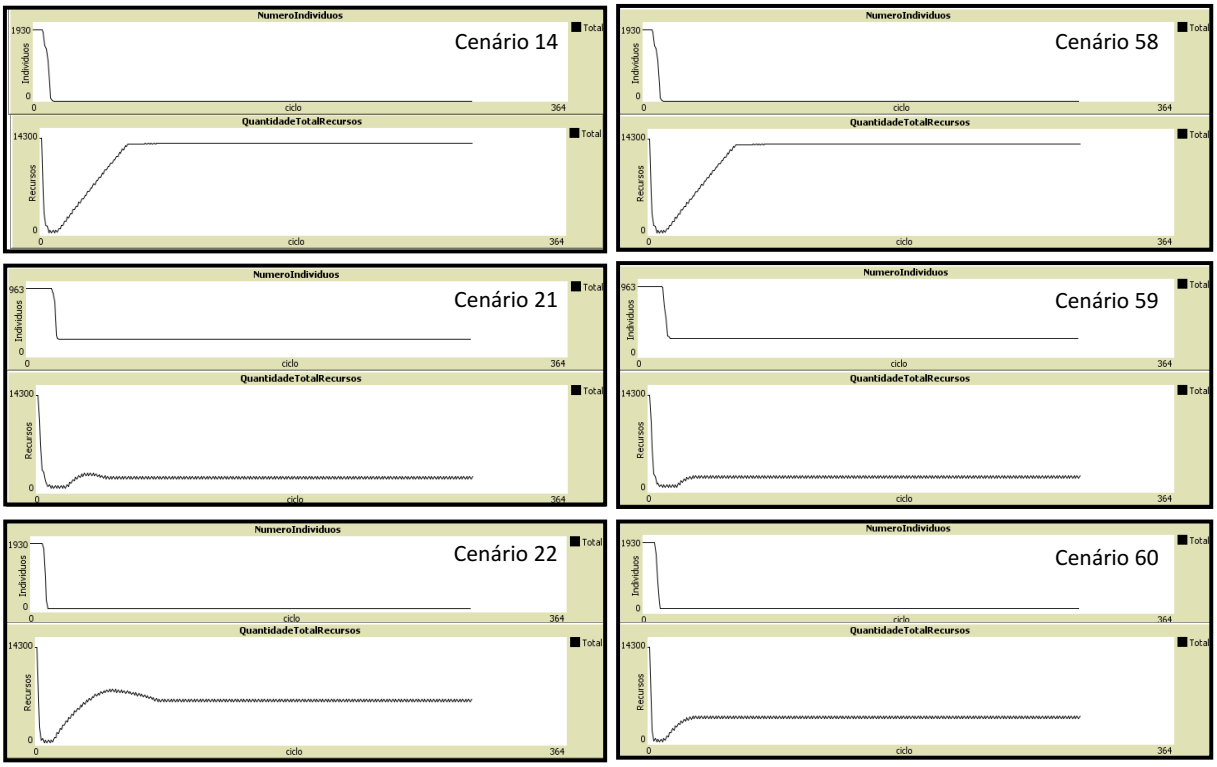
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
55	875	4%	75%	0
56	1750	4%	75%	0
57	875	4%	75%	3
58	1750	4%	75%	3
59	875	5%	75%	0
60	1750	5%	75%	0
61	875	5%	75%	3
62	1750	5%	75%	3
63	875	7,5%	75%	0
64	1750	7,5%	75%	0
65	875	7,5%	75%	3
66	1750	7,5%	75%	3

Figura 25 – Configuração dos cenários criados e analisados de 55 a 66.
Fonte: Autor.



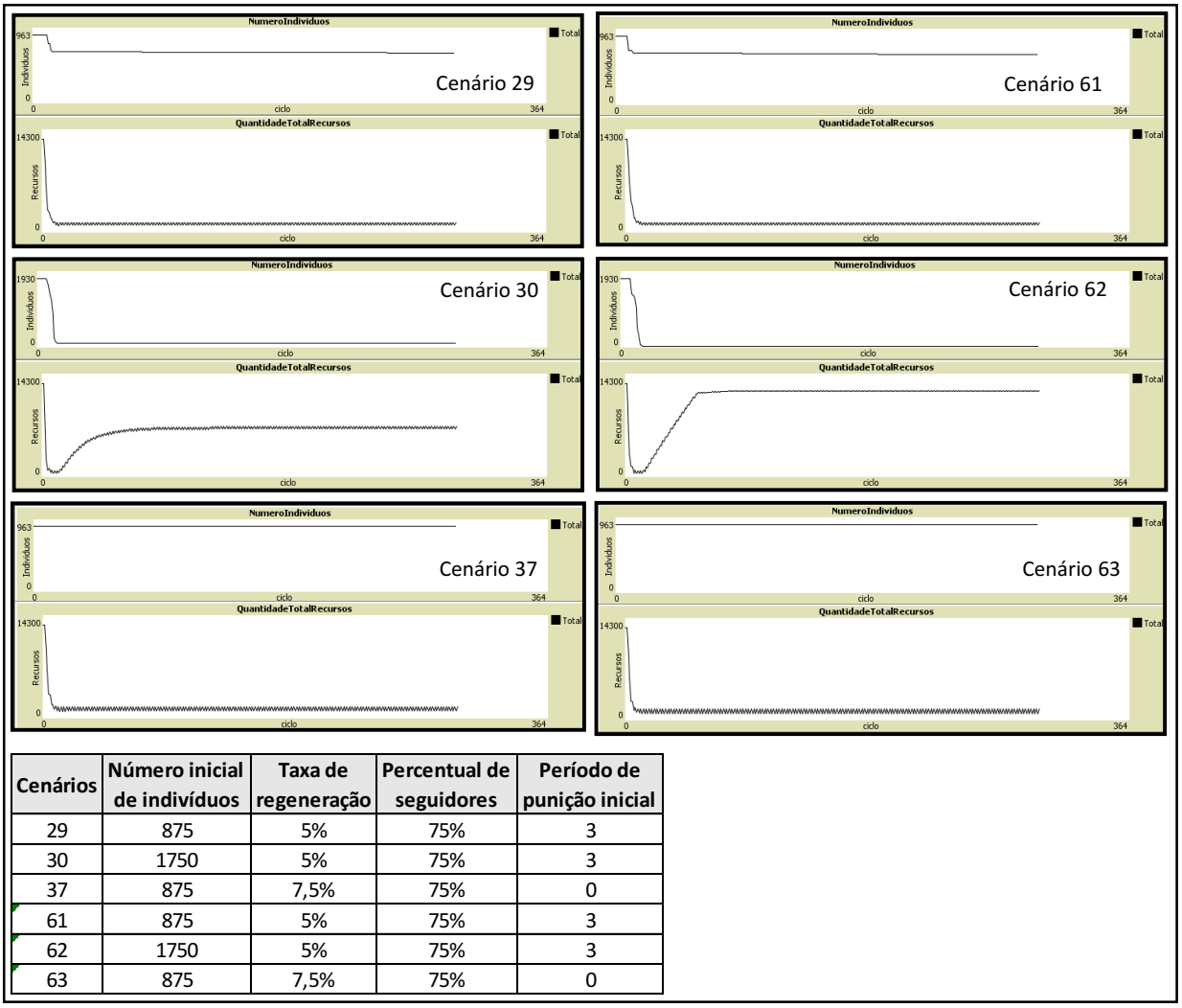
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
05	875	4%	75%	0
06	1750	4%	75%	0
13	875	4%	75%	3
55	875	4%	75%	0
56	1750	4%	75%	0
57	875	4%	75%	3

Figura 26 – Primeira comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2.
Fonte: Autor.



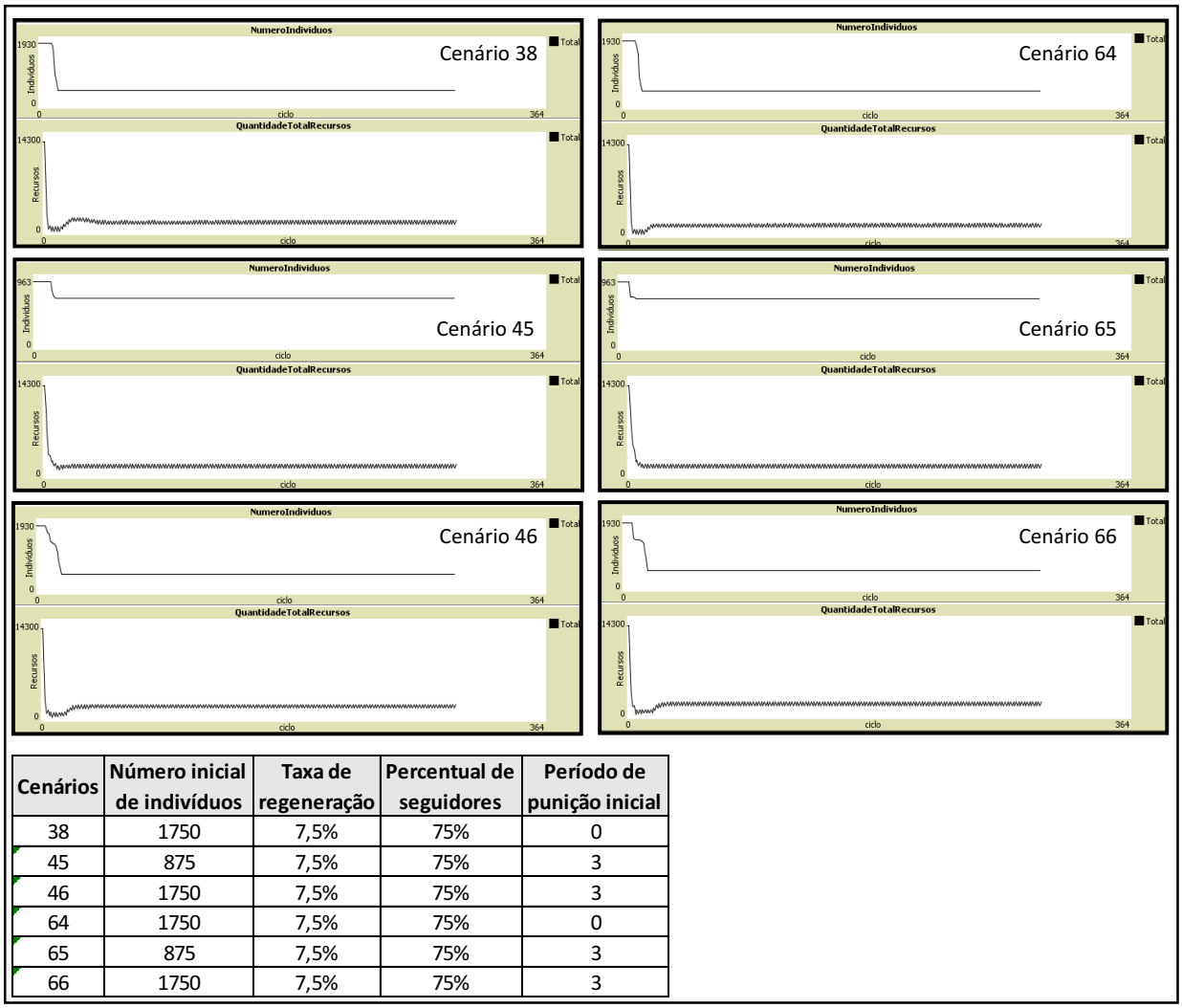
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
14	1750	4%	75%	3
21	875	5%	75%	0
22	1750	5%	75%	0
58	1750	4%	75%	3
59	875	5%	75%	0
60	1750	5%	75%	0

Figura 27 – Segunda comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2.
Fonte: Autor.



Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
29	875	5%	75%	3
30	1750	5%	75%	3
37	875	7,5%	75%	0
61	875	5%	75%	3
62	1750	5%	75%	3
63	875	7,5%	75%	0

Figura 28 – Terceira comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2.
Fonte: Autor.



Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
38	1750	7,5%	75%	0
45	875	7,5%	75%	3
46	1750	7,5%	75%	3
64	1750	7,5%	75%	0
65	875	7,5%	75%	3
66	1750	7,5%	75%	3

Figura 29 – Quarta comparação entre cenários com 25% de indivíduos da categoria 2.
Fonte: Autor.

Foram escolhidos cenários com valores extremos dos parâmetros “número inicial de indivíduos” e “período de punição”. O valor do parâmetro “percentual de seguidores” escolhido foi 75%, pois assim a categoria 1 fica caracterizada como dominante em termos de número de indivíduos em relação à categoria 2, conforme modelo de Akerlof e Kraton (2000).

As figuras 26, 27, 28 e 29 apresentam a comparação entre os cenários originalmente simulados, durante as análises de cenários, utilizando o modelo de identidade, e os novos sem o modelo de identidade.

Os cenários 37, 38, 45 e 46 comparados aos cenários 63, 64, 65 e 66, respectivamente, com as taxas de regeneração altas (7,5%), demonstraram que o modelo de identidade não influencia o número final de sobreviventes. Nos cenários 37 e 63, inclusive, o número final de indivíduos é igual ao inicial.

Comparando-se os cenários 05, 06, 13 e 14 com os cenários 55, 56, 57 e 58, respectivamente, com baixa taxa de regeneração (4,0%), também não se verificou a influência do modelo de identidade no número final de sobreviventes.

Verificou-se por meio dos cenários 22 e 60, com média taxa de regeneração (5,0%), influência negativa do modelo de identidade, ou seja, o cenário com o modelo de identidade apresentou menor desempenho em termos de número de sobreviventes. Os cenários 21 e 29, comparados aos 59 e 61 nessas condições de taxa de regeneração, não apresentaram diferenças. Já com os cenários 30 e 62 verificou-se influência positiva do modelo de identidade no número final de sobreviventes.

Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
22	1750	5%	75%	0
30	1750	5%	75%	3

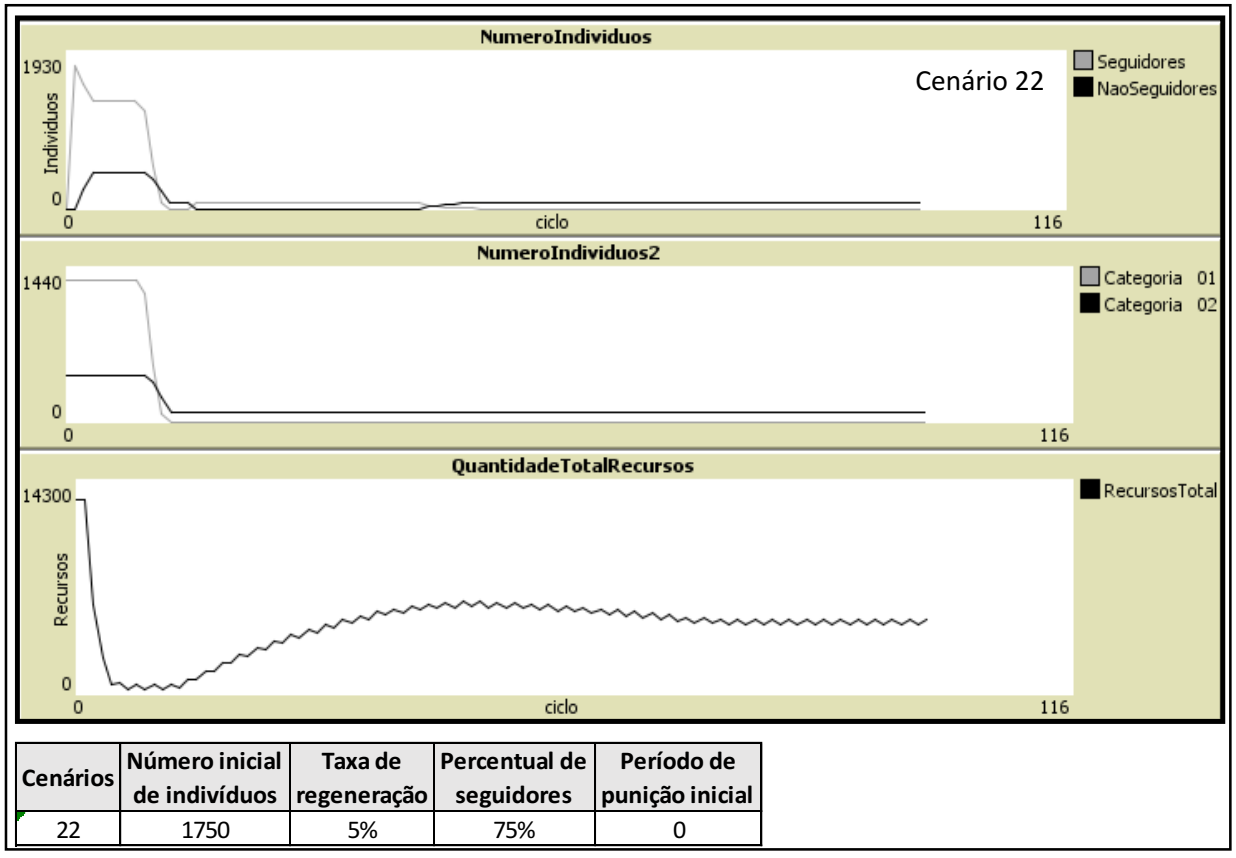
Figura 30 – Cenários escolhidos para o detalhamento das análises do modelo de identidade.
Fonte: Autor.

O modelo de identidade, proposta de Akerlof e Kraton (2000), em certos cenários interfere mais acentuadamente no resultado final da simulação. Dessa forma, em certas situações ou combinações de parâmetros, a sociedade emergente é dependente, pelo menos em termos do número de indivíduos sobreviventes, dos comportamentos individuais influenciados pela identidade ao longo dos ciclos de simulação.

Parece que, em situações de menor escassez (número de indivíduos iniciais mais baixo) e de taxas de recomposição do ambiente limites (mais altas ou mais baixas), o modelo de identidade não interfere significativamente no resultado final obtido, pelo menos em termos de quantidade de indivíduos.

Foram escolhidos para novas e detalhadas análises dois cenários originais que foram, em seus resultados finais, influenciados pelo modelo de identidade. São eles: 22 e 30. No primeiro cenário escolhido, foi verificado um menor número final de indivíduos em relação ao similar que não possuía o modelo de identidade. Já no segundo cenário foi verificado um maior número final de indivíduos em relação ao seu similar que não possuía o modelo de identidade. Ambos os cenários possuem número inicial de indivíduos alto, taxa de regeneração mediano e número de indivíduos da categoria 1, dominante, alto. A diferença entre os dois cenários está

na existência da punição para os infratores da regra de exploração do ambiente. A figura 30 apresenta novamente os parâmetros dos dois cenários escolhidos para novas análises.



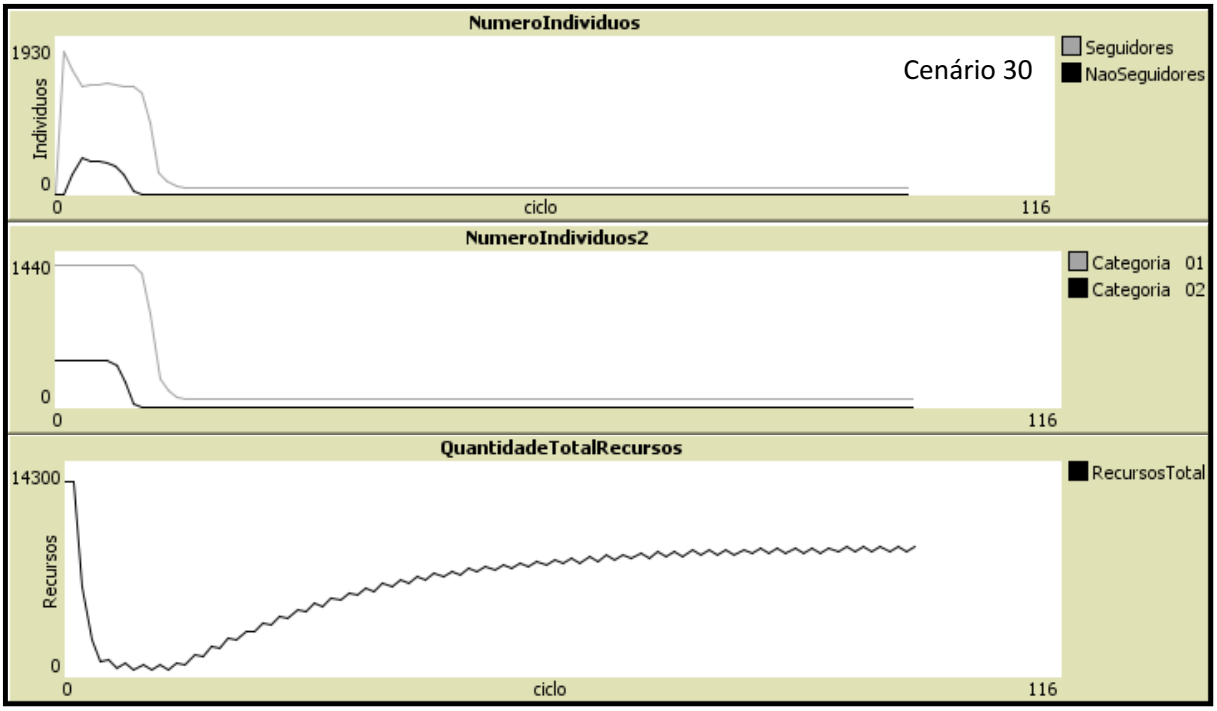
Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
22	1750	5%	75%	0

Figura 31 – Análise detalhada do modelo de identidade do cenário 22.
Fonte: Autor.

No cenário 22, como pode ser verificado na figura 31, a sociedade resultante ao final da simulação é de indivíduos da categoria 2, inicialmente não dominante. Após alguns ciclos de simulação, tais indivíduos passam a se comportar de maneira definitiva como não seguidores da regra de extração do ambiente. A categoria 02 passa a ser a dominante, ou melhor, única, e a regra de extração, nesse caso, não tem mais sentido.

Já no cenário 30, como apresentado na figura 32, a sociedade resultante ao final da simulação é de indivíduos da categoria 01. Apesar da quantidade final de indivíduos nos dois cenários ser praticamente igual, a quantidade final média de recursos disponíveis no ambiente de exploração no cenário 30 é maior. Isso se deve provavelmente ao fato de os indivíduos, ao seguirem as regras de extração, retirarem menos recursos do ambiente. Como o número de indivíduos sobreviventes é pequeno, ambiente e sociedade entram em situação de regime permanente.

É possível perceber que, em ambos os cenários, toda a população, inicialmente, apresenta o comportamento de seguir a regra de extração. Conforme a quantidade de recursos vai diminuindo, o comportamento dos indivíduos da categoria 02 se altera para o de não seguir a regra de extração.



Cenários	Número inicial de indivíduos	Taxa de regeneração	Percentual de seguidores	Período de punição inicial
30	1750	5%	75%	3

Figura 32 – Análise detalhada do modelo de identidade do cenários 30.
Fonte: Autor.

No cenário 22, sem punição estabelecida, a redução dos indivíduos da categoria 01 é acelerada após a regra de extração começar a não ser seguida pelos indivíduos da outra categoria. O fato de os não seguidores da regra de extração continuarem a exaurir o ambiente leva os indivíduos da categoria dominante à extinção.

Durante certo número de ciclos após o extermínio dos indivíduos da categoria 01, ainda com relação ao cenário 22, o comportamento dos indivíduos sobreviventes, pertencentes à categoria 02, passa a ser o de seguir a regra, garantindo a recuperação do ambiente até que o sistema entre em situação de regime permanente. A partir desse ponto, como já mencionado, a população passa a não mais seguir a regra de extração.

No cenário 30, com punição estabelecida, após o período em que toda a população segue a regra, os não seguidores da regra começam a desaparecer aceleradamente, dada a

impossibilidade de extrair recursos pelo período de punição ao qual são submetidos. Os indivíduos da categoria 01 ainda sofrem uma redução em seu número de indivíduos e isso garante a recuperação do ambiente até a situação de regime permanente, com uma quantidade total média de recursos disponível superior ao do cenário 22.

A regra de extração que representa neste estudo as instituições é determinante para a formação da categoria social resultante e para a decisão quanto ao comportamento a se adotar por parte dos indivíduos da categoria 02.

6.5 Sumarização dos resultados obtidos

As análises preliminares, por meio de sucessivas execuções de cenários de simulação criados aleatoriamente e analisados por meio de regressão linear múltipla, apresentaram os seguintes resultados:

a) Quanto maior a escassez devido ao contingente inicial de indivíduos, menores as chances de sobrevivência dos indivíduos de uma forma geral, independentemente da categoria social a que pertençam;
b) Quanto mais rápida a velocidade de regeneração do ambiente, maiores são as chances de sobrevivência dos indivíduos de uma forma geral, independentemente da categoria social a que pertençam;
c) Quanto maior o número inicial de indivíduos da categoria 1, maiores são as chances de sobrevivência de membros de tal categoria e menores são as chances de sobrevivência de indivíduos pertencentes à categoria 2;
d) Quanto maior a punição inicial aplicada aos infratores da regra de exploração de recursos, maiores são as chances de sobrevivência dos indivíduos de uma forma geral. Entretanto, os indivíduos pertencentes à categoria 1 possuem maiores chances de sobrevivência que os indivíduos pertencentes à categoria 2.

Após as análises preliminares, foram definidos quarenta e oito cenários, contemplando combinações de parâmetros diretamente relacionados aos fenômenos, dentro de faixas de valores relevantes para o estudo proposto.

Por meio da execução e comparação entre todos esses cenários, com o auxílio de gráficos de número total de indivíduos e de número total de recursos disponíveis ao longo do tempo, foram obtidos os seguintes resultados:

a) A velocidade com que o ambiente se regenera, independentemente da categoria dos indivíduos, é fator preponderante para a sobrevivência dos indivíduos. Entretanto, se a quantidade inicial de indivíduos aumenta e consequente escassez inicial aumenta, mesmo com velocidades de regeneração do ambiente relativamente altas, as chances de sobrevivência diminuem;
b) Em situações de maior escassez inicial, a punição aos que infringem a regra de extração aumenta as chances de sobrevivência dos indivíduos, principalmente dos pertencentes à categoria 1. Quando a escassez inicial é mais baixa, a punição aos infratores não influencia de maneira significativa as chances de sobrevivência dos indivíduos de uma forma geral;
c) Em situações de maior escassez inicial, a severidade da punição aplicada aos infratores da regra de exploração dos recursos aumenta as chances de sobrevivência, principalmente dos pertencentes à categoria 1. Isso não se verifica em casos de menor escassez inicial.

Foram definidos mais dezoito cenários, finalizando o processo de análise dos resultados das simulações realizadas com o modelo de SBA construído. Esses cenários foram executados com um algoritmo alterado de tal forma que todos os indivíduos pertencentes à categoria 2 infringissem a regra de extração dos recursos, independentemente da combinação de suas variáveis de identidade da função utilidade.

Os cenários com o algoritmo alterado foram comparados aos seus análogos (em termos de parâmetros iniciais) possuidores do modelo de identidade, baseado no proposto por Akerlof e Kraton (2000), em seus algoritmos. Por meio da execução e comparação entre todos esses cenários, com o auxílio de gráficos de número total de indivíduos e de número total de recursos disponíveis ao longo do tempo, foram obtidos os seguintes resultados:

a) O modelo de identidade não influencia o número final de sobreviventes quando todos os indivíduos inicialmente criados são pertencentes à categoria 2, independentemente das velocidades de regeneração do ambiente e grau de escassez. O modelo não é efetivo quando o cenário estudado não envolve a interação entre grupos com identidades e comportamentos antagônicos;
b) O modelo de identidade influencia o número final de sobreviventes quando a categoria 1 é de fato predominante em relação à categoria 2, a velocidade média de regeneração é mediana e a escassez é mais alta, tanto na existência de punição aos infratores quanto na ausência dela. Nas demais condições simuladas (com menor

escassez e velocidades limites de regeneração do ambiente), o modelo de identidade não influencia o número final de sobreviventes.

Complementando as análises dos cenários simulados, aqueles em que o modelo de identidade influenciou a quantidade final de sobreviventes foram novamente executados e analisados de maneira mais detalhada. Esses cenários descrevem as situações nas quais a categoria 1 é de fato predominante em relação à categoria 2, a velocidade média de regeneração é mediana e a escassez é mais alta, tanto na existência de punição aos infratores quanto na ausência dela.

Para suportar esse maior detalhamento, foram criados mais dois gráficos complementares aos já existentes: gráfico com o número de indivíduos que seguiram e não seguiram a regra de exploração de recursos por ciclo de simulação e gráfico com o número de indivíduos pertencentes à categoria 1 e à categoria 2 por ciclo de simulação. Dessas novas simulações foram obtidos os seguintes resultados:

a) Na ausência de punição aos infratores da regra de exploração, os indivíduos sobreviventes são exclusivamente pertencentes à categoria 2. A falta de punição aos infratores da regra de exploração do ambiente causa extermínio da categoria inicialmente predominante;
b) Quando a punição está implementada, os indivíduos sobreviventes são exclusivamente pertencentes à categoria 1. A existência de punição aos infratores da regra de exploração do ambiente garante a sobrevivência da categoria inicialmente predominante e extermina a categoria alternativa;
c) Independentemente da existência ou não de punição e da categoria dos indivíduos, inicialmente, enquanto a disponibilidade dos recursos do ambiente é maior, o comportamento adotado por todos é o de seguir a regra de extração de recursos do ambiente;
d) Com a diminuição dos recursos existentes no ambiente, o comportamento dos indivíduos pertencentes à categoria 2 passa a ser a de não seguir a regra de exploração, independentemente da existência ou não de punição;
e) Com a punição estabelecida, os não seguidores da regra de extração desaparecem aceleradamente, devido à impossibilidade de extração de recursos pelo período de punição ao qual são submetidos;
f) Na ausência de punição, os indivíduos da categoria 2, ao não seguirem a regra de extração, começam a exaurir o ambiente e promovem a extinção dos indivíduos da categoria 1;

g) Na ausência de punição, após a extinção dos indivíduos pertencentes à categoria 1, os indivíduos pertencentes à categoria 2 passam a seguir a regra de extração, aumentando gradativamente a quantidade média de recursos do ambiente. Após o ambiente atingir níveis mais altos de quantidade média de recursos, os indivíduos sobreviventes voltam, de maneira definitiva, a não seguir a regra de extração;
h) Tanto na ausência de punição como na presença dela, o número de indivíduos sobreviventes ao final das simulações permaneceu relativamente igual. Entretanto, a existência de punição garante maior quantidade final média de recursos disponíveis no ambiente ao longo do tempo, ou seja o ambiente é melhor preservado.

7 CONCLUSÕES

O modelo de SBA desenvolvido procurou alinhavar as discussões sobre a tragédia dos comuns, a lógica da ação coletiva, a identidade social e as instituições desenvolvidas pelos grupos sociais. O foco principal foram os grupos pequenos que dispensam ações externas na promoção de sua coordenação para o atingimento de objetivos coletivos, nesse caso, a preservação e perpetuação dos recursos escassos de uso comum.Para tanto, foi utilizado como referência o modelo denominado *Sugarscape*, proposto por Epstein e Axtell (1996). De maneira complementar, foi utilizado o modelo de Akerlof e Kraton (2000) de identidade social, procurando suportar as regras de comportamento dos agentes, chamados de indivíduos.

A escassez dos recursos de uso comum dos quais o grupo é dependente e a velocidade com que tais recursos se recompõem no ambiente são realmente decisivos para a sobrevivência dos indivíduos. Isso fica evidente em todos os cenários simulados e analisados neste trabalho. Qualquer mudança dos parâmetros ligados a esses fatores fora dos intervalos utilizados nas simulações realizadas, independentemente dos demais parâmetros existentes, levou a sociedade artificial, inicialmente criada durante o *setup*, à extinção ou a uma situação de abundância sem redução significativa dos recursos ou indivíduos.

A degradação do ambiente até sua exaustão extrema e consequente extinção do grupo que dele depende, como apresentado por Hardin (1968), é facilmente observada em várias situações simuladas, ou seja, em várias circunstâncias ou conjecturas. A ruína de todos, chamada pelo autor de tragédia dos comuns, é de fato possível em grande parte das situações em que há o compartilhamento e uso de bens ou recursos comuns que são escassos, principalmente onde as condições de escassez são mais contundentes, tanto em relação à disponibilidade absoluta do bem e velocidade de sua regeneração como em relação à quantidade de pessoas que se utilizam e dependem deles.

Nas situações mais extremas de escassez, a organização dos pequenos grupos por meio do desenvolvimento de instituições que coordenem o compartilhamento e uso dos bens ou recursos comuns parece não exercer influência decisiva para que seja evitado o desfecho trágico esperado. Assim sendo, nessas situações, a tragédia dos comuns parece inevitável, conforme proposto por Hardin (1968), ao se referir às tragédias gregas cujo final é antevisto e nada pode ser feito para mudá-lo.

Já nas situações definidas por Ostrom (2011), em que a escassez dos recursos comuns não é extrema, mas está presente mais do que ausente, e tais recursos são renováveis mais do

que não renováveis, pode-se verificar que a existência das instituições criadas pelos pequenos grupos (representadas pela regra de exploração do ambiente e a eventual punição para os indivíduos que a desobedecem) pode ser determinante para a sobrevivência dos indivíduos.

A existência efetiva das instituições aumenta as chances de preservação dos recursos de uso comum e a sobrevivência e perpetuação dos grupos, em especial dos pequenos, corroborando assim Olson (1971), Ostrom (2011), entre outros autores, que acreditam que os fenômenos institucionais podem garantir o surgimento e a aplicação de regras que permitem que os objetivos comuns possam ser alcançados, nesse caso, o controle da exploração dos recursos ou bens comuns.

A maior eficiência das instituições estabelecidas (representadas pelo aumento da severidade da sanção aos infratores da regra existente) aumenta ainda mais as chances de preservação dos recursos de uso comum e a sobrevivência e perpetuação dos grupos. Tal constatação corrobora Schmid (2007) que propõe que o desempenho do grupo na busca de seus objetivos comuns está relacionado ao grau de eficiência do ambiente institucional desenvolvido.

No modelo de identidade social, proposto por Akerlof e Kraton (2000), existem duas categorias de indivíduos nos grupos formados: dominante, alinhada com as instituições desenvolvidas, e antagônica, contrária à dominante. Apoiando-se em tal modelo, é possível verificar que quanto maior o número de indivíduos pertencentes à categoria dominante, maiores são as chances de sobrevivência do grupo como um todo, especialmente dos indivíduos pertencentes à categoria dominante e, consequentemente, menores são as chances de sobrevivência dos indivíduos contrários a essa categoria.

O fato acima descrito revela que o grau de homogeneidade do grupo e consequente eficiência das instituições estabelecidas influenciam as chances de preservação dos recursos de uso comum e a sobrevivência e perpetuação dos grupos pequenos. Revela também que, ao pertencer à categoria dominante, o indivíduo, alinhado às instituições efetivamente estabelecidas que coordenam o uso dos recursos comuns, aumenta sua chance de sobrevivência diante da situação de escassez e da necessidade de coordenação existentes, corroborando Olson (1971), Azevedo, Martins e Drummond (2009), Fiani (2011), Ostrom (2011), entre outros autores, que discutem a ação das instituições na coordenação dos indivíduos para o logro de objetivos comuns. Ação essa intensificada quando os grupos são pequenos.

Os indivíduos da categoria dominante, em maior número dentro do grupo, ao não desenvolverem adequadamente suas instituições ou não garantir a efetividade delas, podem acabar desaparecendo ou sendo substituído pelos indivíduos da categoria antagônica, que passa

a ser a dominante. Nesses casos, a preservação dos recursos de uso comum fica comprometida, uma vez que a categoria antagônica não possui a preocupação quanto à coordenação e ao compartilhamento desses recursos.

Todos os indivíduos, independentemente da categoria ao qual pertençam, tendem a colaborar com as instituições desenvolvidas enquanto os recursos de uso comum são abundantes. Com o aumento da escassez dos recursos e o consequente aumento da concorrência, o comportamento da categoria antagônica muda, desalinhando-se das instituições estabelecidas. Caso as instituições estejam efetivamente desenvolvidas e implantadas, a categoria dominante se perpetua e garante sua sobrevivência e a preservação sustentável do ambiente do qual o grupo é dependente.

Conforme discutido anteriormente, os indivíduos da categoria antagônica (inicialmente com menor representação) se tornam predominantes nas situações em que as instituições não foram adequadamente desenvolvidas ou efetivadas. Entretanto, diante de uma escassez mais extrema, mesmo esses indivíduos adotam comportamentos alinhados às instituições até que o risco de exaustão do ambiente seja reduzido. Esse fato parece revelar que, em situações limite, o comportamento pode ser alterado para garantir a sobrevivência do grupo. Quando o risco é atenuado, o comportamento volta a ser o inicialmente adotado.

De uma forma geral, o trabalho realizado por meio do desenvolvimento do modelo de SBA apresentado revela que a tragédia dos comuns é de fato uma possibilidade existente de desfecho para o problema do uso dos bens ou recursos comuns. Porém, a ação coletiva, especialmente em grupos pequenos que dependem diretamente dos recursos para a sobrevivência, pode desenvolver instituições para a autocoordenação, sem a participação de um poder centralizador, garantindo o logro de objetivos de preservação e perpetuação.

A ação coletiva e o consequente desenvolvimento das instituições são influenciados pela identidade que é determinada na escolha do comportamento dos indivíduos do grupo diante de situações nas quais é necessária autocoordenação para que os objetivos comuns sejam alcançados.

O ambiente artificial desenvolvido possibilita, por meio da alteração de diversos parâmetros, a simulação computacional da emergência de estruturas sociais que reproduzem a tragédia dos comuns e a capacidade de autocoordenação de grupos pequenos que dependem de recursos de uso comum.

O aprofundamento da discussão sobre a tragédia dos comuns, a lógica da ação coletiva e a importância das instituições sociais formadas por tais grupos, juntamente com a inserção da

psicologia e da sociologia da identidade, abre caminho para novos estudos na área e revelam que muito ainda há de ser desenvolvido e estudado.

8 LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

Neste capítulo, são apresentadas as limitações existentes neste estudo e as possíveis pesquisas futuras que foram identificadas ao longo da realização do trabalho. O modelo de SBA foi construído com o propósito de responder a um grupo de perguntas de pesquisa e, como proposto por Cioffi-Revilla (2010), abre oportunidades para novos questionamentos, refinos e detalhamentos.

8.1 Limitações

O modelo de ambiente artificial proposto e as regras atribuídas aos seus agentes e ao ambiente apresentam grandes limitações por retratarem de maneira simplificada as relações sociais dos pequenos grupos que dependem da exploração de recursos naturais comuns que possuem relativa escassez e ritmo de regeneração. Não estão presentes no modelo outras questões e regras que caracterizam o ambiente real e os indivíduos nele presentes, incluindo outras figuras: outros grupos e sociedades próximas, o Estado, órgãos de proteção ambiental, ecossistema, fatores climáticos, entre outras.

O ambiente modelado distribui uniformemente os recursos por sua extensão e possui a mesma taxa de regeneração em todos os seus pontos. Somente um tipo de recurso é disponibilizado pelo ambiente e extraído pelos indivíduos. A eventual diversidade de tipos de recursos e sua possível distribuição não uniforme pela extensão do ambiente não foi modelada e, apesar de acrescer certa aleatoriedade à simulação, poderia suportar novas análises quanto às dificuldades de regeneração do ambiente e de acesso do grupo aos recursos. A inserção de novos tipos de recursos ao modelo e sua distribuição ambiental desuniforme poderia também sustentar análises ligadas à troca e a relações de comércio e crédito entre os membros que formam a sociedade artificial construída.

As instituições que são desenvolvidas e implantadas pelos grupos, no que tange a suas regras formais ou informais, estão representadas no modelo por uma única regra: a restrição quanto à exploração da quantidade total de recursos existentes no ambiente. Todas as análises foram realizadas a partir dessa única regra, em situações de não existência de punição a

infratores e em situação de punição mais leve ou mais acentuada. A complexidade do conjunto de normas e regras que caracterizam as instituições e suas intersecções, sobreposições, antagonismos e diversidade não foram fruto do estudo deste trabalho. Uma maior sofisticação e complexidade com relação à modelagem das regras sociais poderia permitir um maior aprofundamento quanto à implantação, obediência, punição e consequentes reflexos sociais das instituições emergentes dos pequenos grupos em questão.

Podem existir outros critérios ou maneiras de se caracterizar um grupo pequeno, além da utilizada com o cálculo da proporção entre número inicial de indivíduos e quantidade total inicial de recursos existentes, o que poderia permitir a análise de outros comportamentos e estruturas sociais emergentes além das realizadas.

Nenhuma regra para reprodução dos indivíduos foi modelada. Possíveis aumentos da população e redução dos recursos existentes no ambiente por conta da possível reprodução não foram estudados. Essas regras poderiam proporcionar novas análises com relação a situações de equilíbrio entre população e ambiente ou revelar novos resultados relativos à tragédia dos comuns.

A identidade pode não ser a única variável que suporta o desenvolvimento e a coesão dos grupos sociais, nem tampouco ser a única determinante para o comportamento diferenciado dos pequenos grupos. Outros conceitos que poderiam explicar a coesão e a identificação dos indivíduos de um grupo social, em especial dos pequenos, não foram alvo de estudo.

O modelo de identidade utilizado determina apenas a existência de duas categorias antagônicas quanto a pré-disposições e comportamentos. A existência de categorias intermediárias ou alternativas a elas não estão presentes no modelo. Toda a base para construção dos parâmetros que determinam a identidade foi a quantidade de recursos, ou seja, as funções utilidade foram construídas considerando os estímulos econômicos como exclusivos para a tomada de decisão dos indivíduos. Outras formas de motivação e satisfação humanas não foram modeladas.

8.2 Pesquisas futuras

Novas pesquisas podem ser realizadas por meio da sofisticação do modelo desenvolvido com a inclusão de pontos no ambiente com quantidades disponíveis de recursos discrepantes e com a existência de indivíduos com características de estoque inicial, visão e consumo

divergentes. Embora tal sofisticação pudesse trazer maior aleatoriedade às simulações, poderiam também revelar novos fenômenos e representar mais fielmente a realidade com sua complexidade e diversidade.

Outro ponto com potenciais de contribuição para a ciência poderia ser a inserção da reprodução entre os indivíduos no modelo de SBA. Isso permitiria a simulação de taxas diferentes de crescimento populacional e suas consequências em relação à disponibilidade de recursos. Permitiria também a identificação de pontos de equilíbrio entre a regeneração e o crescimento populacional e maior precisão dos parâmetros e valores que levam os grupos à situação de tragédia dos comuns.

A inserção de outras regras sociais e de outras formas de punição permitiria a análise de um contexto social mais complexo e poderia revelar novos detalhes com relação ao desenvolvimento das instituições presentes nas sociedades.

A mudança de comportamento de membros da categoria antagônica à dominante foi prevista pelo modelo de identidade adotado, porém, uma eventual mudança de categoria do indivíduo pertence à dominante em caso de crise (eminência de morte, por exemplo) não foi modelada. A definição de regras para mudanças comportamentais de integrantes da categoria dominante, divergindo do modelo utilizado de Akerlof e Kraton (2000), poderia proporcionar novas análises e conclusões sobre identidade, comportamento, entre outros.

Novas e mais detalhadas simulações poderiam ser realizadas com a finalidade de aprofundamento das análises referentes ao modelo de identidade apresentado. Novos cenários e comparações com foco no comportamento dos indivíduos de cada uma das categorias existentes poderiam contribuir para uma maior compreensão do conceito e gerar novos e mais detalhados modelos.

REFERÊNCIAS

AKERLOF, G. A.; KRATON, R. E. Economics and identity. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 115, n. 3, p. 715-753, ago. 2000.

ASHFORTH, B. E.; MAEL, F. Social identity theory and the organization. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 1, p. 20-39, jan. 1989.

AXELROD, R. **A evolução da cooperação**. São Paulo: Leopardo, 2010.

AZEVEDO, A. I.; MARTINS, H. T.; DRUMMOND, J. A. L. A dinâmica institucional de uso comunitário dos produtos nativos do cerrado no município de Japonvar (Minas Gerais). **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 193-228, jan./abr. 2009.

BICCHIERI, C. Covenants without swords: group identity, norms, and communication in social dilemas. **Rationality and Society**, v. 14, n. 2, p. 192-228, maio 2002.

BONABEAU, E. Agent-based modelling: methods and techniques for simulating human systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA, v. 99, n. 3, p. 7280-7287, maio 2002.

BUEDE, D. Errors associated with simple versus realistic models. **Comput Math Organ Theory**, v. 15, p. 11–18, 2009.

BULLINGTON, J. C. Agents and social interaction: insights from social psychology. In: TRAJKOVSKI, G.; COLLINS, T. (Org.). **Handbook of research on agent-based societies**: social and cultural interactions. New York: Information Science Reference, 2009. Cap. 3, p. 35-50.

BURK, W. J.; STEGLICH, C. E. G.; SNIJDERS, T. A. B. Beyond dyadic interdependence: actor-oriented models for co-evolving social networks and individual behaviors. **International Journal of Behavioural Development**, v. 31, n. 4, p. 397-404, jul. 2007.

CARLEY, K. M. Computational modeling for reasoning about the social behavior of humans. **Comput Math Organ Theory**, v. 15, p. 47-59, 2009.

CARROL, G. R.; HARRISON, R. J.; MCKENDRICK, D. G. Selection and variation in organizational evolution. **Industrial and Corporate Change**, v. 21, n. 1, p. 217-243, dez. 2011.

CENTOLA, D.; WILLER, R.; MACY, M. The emperor's dilema: a computacional model of self-enforcing norms. **American Journal of Sociology**, v. 110, n. 4, p. 1009-1040, jan. 2005.

CIOFFI-REVILLA, C. A. Methodology for complex social simulations. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, UK, v. 13, n. 1, jan. 2010. Disponível em: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/1/7.html>. Acesso em: 21 fev. 2011.

CHEN, R.; CHEN, Y. The potential of social identity for equilibrium selection. **The American Economic Review**, v. 101, n. 6, p. 2562-2589, out. 2011.

CHWIF, L; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicações. 3. ed. São Paulo: Edição do Autor, 2010.

COHEN, M. D.; MARCH, J. G.; OLSEN, J. P. A garbage can model of organizational choice. **Administrative Science Quarterly**, v. 17, n. 1, p. 1-25, mar. 1972.

CONRADO, D. M *et al*. Uso do conhecimento evolutivo na tomada de decisão de estudantes de ensino médio sobre questões socioambientais. **Revista Contemporânea de Educação**, n. 14, p. 345-368, ago./dez. 2012.

CRESPO, S. B. S.; MATOS, K. M.; ABREU, G. V. **A3P:** agenda ambiental na administração pública. 5. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

DASGUPTA, P. **Economia**. São Paulo: Ática, 2008.

DAVIS, L. E.; NORTH, D. C. **Institutional change and american economic growth**. USA: Cambridge University Press, 1971. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Nu48AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=davis+north+1971&ots=OnF_YthaRE&sig=EwYnzVA2O-ucc1cfDyzidYhl3BE#v=onepage&q=davis%20north%201971&f=false>. Acesso em: 03/out./2013.

DIMAGGIO, P. J.; POWELL, W. W. The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. **American Sociological Review**, v. 48, p. 147-160, abr. 1983.

EDMONDS, B. The use of models: making MABS actually work. In: MOSS, S.; DAVIDSSON, P. (Edit.). **Mult-agent based simulation.** USA: Notes in Artificial Intelligence, 2001. Cap. 4, p. 15-32.

EPSTEIN, J. M. Agent-based computational models and generative social science. **Complexity**, USA, v. 4, n. 5, p. 41-60, maio 1999.

EPSTEIN, J. M. Why Model? **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 11, n. 412, p. 1-6, out. 2008.

EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. **Growing artificial societies:** social science from bottom up. Washington: The BrookingsInstitution, 1996.

FIANI, R. **Teoria dos jogos**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

FIANI, R. **Cooperação e conflito**: instituições e desenvolvimento econômico. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

FIORETTI, G. Agent-based simulation: models in organization Science. **Organizational Research Methods**, USA, v.16, n. 2, p. 227-242, 2012.

FIORETTI, G.; LOMI, A. Passing the buck in the garbage can model of organizational choice. **Computational and Mathematical Organization Theory**, v. 16, p. 113-143, ago. 2010.

FORD, A. **Modelling the environment**. 2. ed. USA: Island Press, 2010.

FURUBOTN, E. G.; RICHTER, R. The new institutional economics: a different approach to economic analysis. **Economic Affairs**, v. 28, n. 3, p. 15-23, set. 2008.

GARCIA-MAGARINO, I.; GUTIERREZ, C. Agent-oriented modeling and development of a system for crisis management. **Expert Systems with Applications**, v. 40, p. 6580-6592, 2013.

GILBERT, N. **Agent-based model**. USA: Sage Publications, 2008.

GOTTS, N. M.; POLHILL, J. G.; LAW, A. N. R. Agent-based simulation in the study of social dilemmas. **Artificial Intelligence Review**, Netherlands, v. 19, n. 1, p. 3-92, mar. 2003.

GREIF, A. Contract enforceability and economic institutions in early trade: the Maghribi trades´ coalition. **The American Economic Review**, v. 83, n. 3, p. 525-548, jun. 1993.

HACK, E. **Direito Tributário**. Curitiba: IESDE Brasil S. A., 2008.

HARDIN, G. The tragedy of the commons. **Science**, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, dez. 1968.

HARRISON, J. R.; CARROLL, G. R.; CARLEY, K. M. Simulation modeling in organizational and managementresearch. **Academy of Management Review**, v. 32, n. 4, p. 1229-1245, out. 2007.

HINKLE, S. *et al*. Intragroup identification and intergroup differentiation: a multicomponent approach. **British Journal of Social Psychology**, v. 28, n. 4, p. 305-317, dez. 1989.

HOFSTEDE, G. J.; JONKER, C.; VERWAART, T. Cultural differentiation of negotiating agents. **Group Decis Negot**, v. 21, p. 79-98, 2012.

KIRSCHBAUM, C.; IWAI, T. Teoria dos jogos e microssociologia: avenidas de colaboração. **RAC**, v. 15, n. 1, p. 138-157, jan./fev. 2011.

KYRIACOU, A. P. Intrinsic motivation and the logic of collective action. **American Journal of Economics and Sociology**, v. 69, n. 2, p. 823-839, abr. 2010.

LEVY JR, M. J.; FALLERS, L. A. The family: some comparative considerations. **American Anthropologist**, v. 61, n. 4, p. 647-651, ago. 1959.

LOMI, A.; LARSEN, E. R. Interacting locally and evolving globally: a computational approach to the dynamics of organizational populations. **Academy of Management Journal**, v. 39, n. 5, p. 1287-1321, out. 1996.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on agent-based modelling and simulation. In: PROCEEDINGS OF THE 2005 WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2005, Flórida, **Anais eletrônicos** 2005. Disponível em: <http://www.kent.ac.uk/secl/philosophy/jw/reasoning/2009/Macal%20North%2005%20-%20Tutorial%20on%20agent-based%20modelling%20and%20simulation.pdf> Acesso em: 03 mar. 2011.

MANTZAVINOS, C.; NORTH, D. C.; SHARIQ, S. Learning, institutions, and economic performance. **Perspectives on Politics**, v. 2, n. 1, p. 75-84, mar. 2004.

MENDES-DA-SILVA, W. Governança de empresas familiares e redes corporativas no Brasil. In: FONTES FILHO, J. R; LEAL, R. P. C. (Org.). **Governança corporativa em empresas familiares**. São Paulo: Saint Paul Editora, 2011.

MEYER, J. W.; ROWAN, B. Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony.**The American Journal of Sociology**, v. 83, n. 2, p. 340-363, set. 1977.

MORANO, R. S.; MORAES, E. A. Conduta e cooperação entre empresas: um estudo através do dilema do prisioneiro e da simulação baseada em agentes. **Estudos do ISCA**, Portugal, v. 0, n. 6, jul. 2013.

MORGAN, G. Paradigms, metaphors, and puzzle solving in organization theory. **Administrative Science Quartely**, USA, v. 25, n. 4, dec. 1980.

NETLOGO User Manual, version 5.0.5, dez. 2013. Disponível em<http://ccl.northwestern .edu/netlogo/hubnet.html> Acesso em: 11 mar. 2014.

NONGAILLARD, A.; MATHIEU, P. Agent-based reallocation problem on social networks. **Group Decision and Negotiation**, v. 22, p. 1-17, jan. 2013.

NORTH, D. C. Institutions. **The journal of economic perspectives**, v. 5, n. 1, p. 97-112, 1991.

NOWAK, A.; RYCHWALSKA, A.; BORKOWSKI, W. Why Simulate? To develop a mental model. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 16, n. 312, p. 1-9, jun. 2013.

OLSON, M. **The logic of collective action:** public goods and the theory of groups. Cambridge, USA: Harvard University Press, 1971.

OLSON, M. Dictatorship, democracy, and development. **American Political Science Review**, v. 87, n. 3, p. 567-576, set. 1993. Disponível em: <http://www.jstor.org/discover/ 10.2307/2938736?uid=3737664&uid=2&uid=4&sid=21102598270311> Acesso em: 09 set. 2013.

OSTROM, E. **El gobierno de losbienes comunes:** La evolución de las instituciones de acción colectiva. 2. ed. México: FCE, UNAM, IIS, 2011.

PAGLIARUSSI, M. S; RAPOSO, F. O. Conflito de agência em empresas familiares. In: FONTES FILHO, J. R; LEAL, R. P. C. (Org.). **Governança corporativa em empresas familiares.** São Paulo: Saint Paul Editora, 2011.

PAN, X. *et al*. A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. **AI & Soc**, v. 22, p. 113-132, 2007.

PIDD, M. **Modelagem empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

QUEIROZ, M. A. L. **Business competition dynamics:** agent-based modeling simulations of firms in search of economic performance. 2010. 302 f. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

RAPOPORT, A. Variability in payoff disbursement in coalition formation experiments. **European Journal of Social Psychology**, v. 14, p. 265-280, 1984.

ROUSSEAU, J. J. **Discurso sobre as ciências e as artes:** Discurso sobre a origem e os fundamentos da desigualdade entre os homens. São Paulo: Martin Claret, 2010.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Simulação baseada em agentes (SBA) para modelagem de sistema de operações. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 12, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SIMPOI, 2009.

SAMUELSON, D. A.; MACAL, C. M. Agent-based simulation comes of age: software opens up many new areas of application. **OR/MS Today Magazine**, ago. 2006. Disponível em: <http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-8-06/agent.html> Acesso em: 03 mar. 2011.

SCHMID, A. A. Conflict and cooperation: institutional and behavioral economics. **Land Economics**, v. 83, n. 2, p. 280-283, maio 2007.

SICHMAN, J. S. DEPINT: dependence-based coalition formation in an open multi-agent scenario. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, UK, v. 1, n. 2, mar. 1998. Disponível em: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/3.html>. Acesso em: 17 jun. 2011.

SILVA, V. T. **Diagrama de transição de estados**. Instituto de Computação – UFF, 2012. Disponível em: <http://www.ic.uff.br/~viviane.silva/2012.1/es1>. Acesso em: 17 mar. 2014.

SIMON, H. A. Bounded rationality and organizational learning. **Organization Science**, USA, v. 2, n. 1, p. 125-134, fev. 1991.

SHOHAM, Y. Agent-oriented programming. **Artificial Intelligence**, USA, v. 60, n. 1, p. 51-92, mar. 1993.

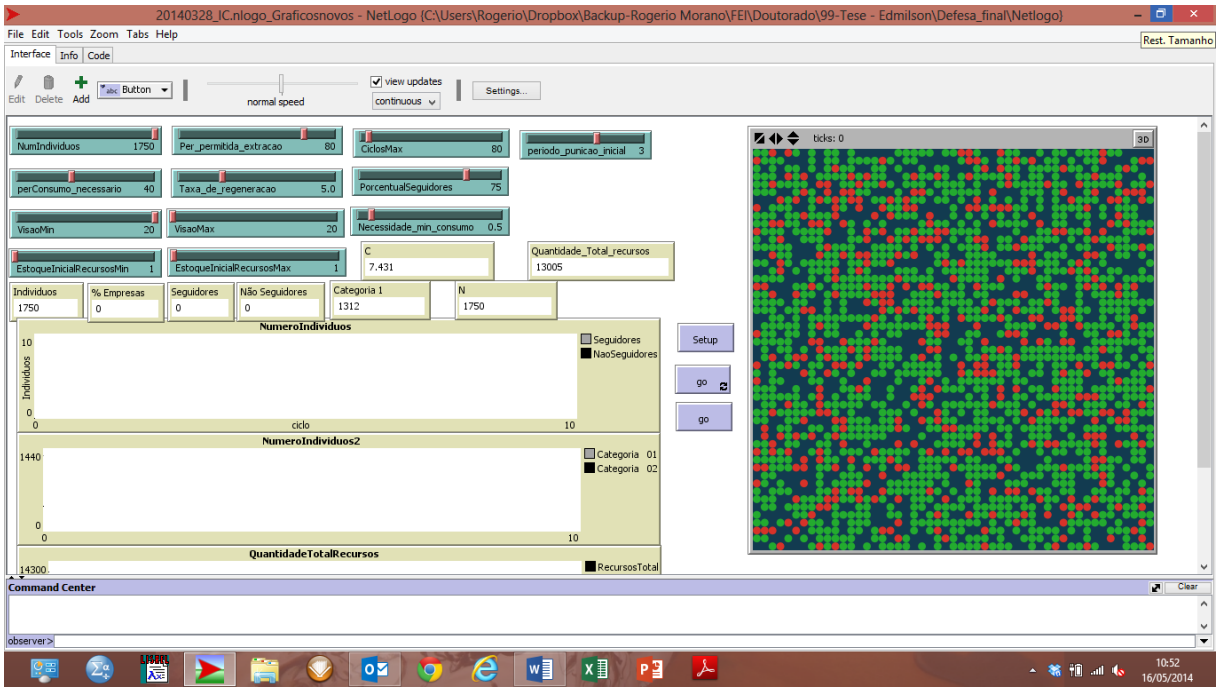
SMITH, M. J.; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial analysis:** a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. England: Troubador Publishing, 2007.

TAJFEL, H. Social identity and intergroup behaviour. **Social Science Information**, v. 13, n. 2, p. 65-93, abr. 1974.

TICHY, N. M.; TUSHMAN, M. L.; FOMBRUM, C. Social network analysis for organizations. **The Academy of Management Review**, v. 4, n. 4, p. 507-519, out. 1979.

UHRMACHER, A. M. Object-oriented, agent-oriented simulation: implications for social science applications. In: TROITZSCH, K. G.; *et al*. (Org.). **Social science micro simulation**: a challenge for computer science. Berlin: Springer Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 1996.

ANEXO A – TELA DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO


20140328_IC.nlogo_Graficosnovos - NetLogo (C:\Users\Rogerio\Dropbox\Backup-Rogerio Morano\FEI\Doutorado\99-Tese - Edmilson\Defesa_final\Netlogo)
File Edit Tools Zoom Tabs Help
Rest. Tamanho
Interface Info Code
Edit Delete Add Button
normal speed
view updates
continuous
Settings...
NumIndividuos 1750
Per_permitida_extracao 80
CiclosMax 80
periodo_punicao_inicial 3
perConsumo_necessario 40
Taxa_de_regeneracao 5.0
PorcentualSeguidores 75
VisaoMin 20
VisaoMax 20
Necessidade_min_consumo 0.5
EstoqueInicialRecursosMin 1
EstoqueInicialRecursosMax 1
C 7.431
Quantidade_Total_recursos 13005
Individuos 1750
% Empresas 0
Seguidores 0
Não Seguidores 0
Categoria 1 1312
N 1750
NumeroIndividuos
Seguidores
NaoSeguidores
Individuos
ciclo
NumeroIndividuos2
Categoria 01
Categoria 02
QuantidadeTotalRecursos
RecursosTotal
Setup
go
go
ticks: 0
3D
Command Center
Clear
observer>
10:52
16/05/2014

ANEXO B – CÓDIGO FONTE DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO

```
breed       [individuos
individuo]

individuos-own [Consumo_necessario
visao
idade
vizinhanca
Estoque_recursos
categoria
comportamento
posicaoatual
punido
periodo_punicao_individuo
punicao_progressiva]

patches-own  [recursodisponivel
recursodisponivelmax]

globals      [Intervalovisao
IntervaloEstoqueInicialRecursos
ciclo
forbes
n-hist-cooperar
n-hist-naocooperar
equalizadorcooper
equalizadornaocooper
aleatorioscooper
aleatoriosnaocooper
porcentagemindividuossobreviventes
Quantidade_Total_recursos
Quantidade_Total_Media
Quantidade_Total_reservada
Quantidade_Reservada_Media
numero_individuos]

to setup
  __clear-all-and-reset-ticks
create-individuosNumindividuos
setup-geral
setup-ambiente_exploracao
setup-individuos
  Calcula-parametrosgerais-utilidade
setup-montar_graficos
end

to setup-geral
setIntervalovisaolistvisaoMinvisaoMax
setIntervaloEstoqueInicialRecursoslistEstoqueInicialRecursosMinEstoqueInicialRecursosMax
setforbes []
setciclo 0
end

to setup-montar_graficos
set-current-plot "Numeroindividuos"
set-current-plot-pen "Seguidores"
plot count individuos with [comportamento = 1]
set-current-plot-pen "NaoSeguidores"
plot count individuos with [comportamento = 2]
set-current-plot "Numeroindividuos2"
set-current-plot-pen "Categoria   01"
```

```
plot count individuos with [categoria = 1]
set-current-plot-pen "Categoria   02"
plot count individuos with [categoria = 2]
set-current-plot "QuantidadeTotalRecursos"
set-current-plot-pen "RecursosTotal"
plotQuantidade_Total_recursos
end

to setup-individuos
set-default-shapeindividuos "circle"
Atribui_categorias
askindividuos
  [
set punido 0
setpunicao_progressiva 0
setperiodo_punicao_individuo 0
setConsumo_necessario 0
    Calcula-Consumo_necessario
setup-individuo
escolhe-valor Intervalovisao
escolhe-valor IntervaloEstoqueInicialRecursos
      []
  ]
end

to Calcula-Consumo_necessario
setConsumo_necessario (Estoque_recursos * (perConsumo_necessario / 100))
ifConsumo_necessario<Necessidade_min_consumo
  [setConsumo_necessarioNecessidade_min_consumo]
end


to setup-individuo [aveirxy]
setvisaoav
setvizinhanca monta-vizinhancavisao
set idade 0
setEstoque_recursoseir
ifelse (empty? xy) [setup-xy] [setxy item 0 xy item 1 xy]
end

to-reportmonta-vizinhanca [n]
leti 0
let l 0
seti 1
set l []
while [ i<= n ]
    [
set l lput (list 0 i) l
set l lput (list i 0) l
set l lput (list 0 (0 - i)) l
set l lput (list (0 - i) 0) l
setii + 1
    ]
report l
end

toAtribui_categorias
askindividuos
  [
setcategoria 2
```

```
set color 15
]
askn-of (PorcentualSeguidores * Numindividuos / 100) individuos
[
setcategoria 1
set color 64
  ]
end

to setup-xy
let s 0
let x 0
let y 0
sets world-width
set x random s
sety random s
setxy (x + min-pxcor) (y + min-pycor)
if (any? other individuos-here) [setup-xy]
end

to setup-ambiente_exploracao
let mcd 0
set mcd ( word

"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555555"
```

```
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
"555555555555555555555555555555555555555555555555"
 )
ask patches [set-recursodisponivelmax read-from-string item ((25 - pycor) * 51 + (pxcor + 25)) mcd]
end

to set-recursodisponivelmax [mcd]
setrecursodisponivelmax mcd
set-recursodisponivel mcd
end

to set-recursodisponivel [mcd]
setrecursodisponivel max list 0 (min list mcd recursodisponivelmax)
set-cormercado
end

to set-cormercado
setpcolor 94 + 3 - recursodisponivel
end

to go
tick
set ciclo ciclo + 1
  Calcula-parametrosgerais-utilidade
askindividuos
  [
regra-movimentacao
calcula-comportamento
    Extrai-recursos

calcula-Consumo_necessario
  ]

ask patches
  [
set-cormercado
ifrecursodisponivel = 0 [set pcolor 9.9]
if ticks mod 2 = 0 [Regenera-ambiente]
  ]
if (sum [recursodisponivel] of patches) = 0 [stop]
if count individuos = 0 [stop]
ifciclo>= ciclosMax [stop]
montar_graficos
end

to Calcula-parametrosgerais-utilidade
; Io = recursodisponivel
```

```
; Is = Io * (1-(Per_permitida_extracao / 100))
; C  =Quantidade_Total_Media
; L  =Quantidade_Reservada_Media
setnumero_individuos (countindividuos)
ifnumero_individuos = 0 [stop]
setQuantidade_Total_recursos sum [recursodisponivel] of patches
setQuantidade_Total_Media (Quantidade_Total_recursos / numero_individuos)
setQuantidade_Total_reservada (Quantidade_Total_recursos * (Per_permitida_extracao / 100))
setQuantidade_Reservada_Media (Quantidade_Total_reservada / numero_individuos)
end

toregra-movimentacao
setposicaoatual 0
let v 0
let d 0
letps (patches at-points vizinhanca) with [count individuos-here = 0]
ifelse (count ps> 0)
  [
set v [recursodisponivel] of max-one-of ps [recursodisponivel]
setpsps with [recursodisponivel = v]
set d distance min-one-of ps [distance myself]
setposicaoatual one-of ps with [distance myself = d]
setxy [pxcor] of posicaoatual [pycor] of posicaoatual
  ]
  [setposicaoatual patch-here]
end

to-reportescolhe-valor [p]
report first p + random (last p - first p + 1)
end

to calcula-comportamento
; Io = recursodisponivel
; Is = Io * (1-(Per_permitida_extracao / 100))
; C  =Quantidade_Total_Media
; L  =Quantidade_Reservada_Media
; V  =Consumo_necessario
letIo [recursodisponivel] of posicaoatual
letIs (Io * (Per_permitida_extracao / 100))
let C Quantidade_Total_Media
let L Quantidade_Reservada_Media
let V Consumo_necessario
ifelse (categoria = 1) [set comportamento 1]
  [
; set comportamento 2
if (((C < Io) and ((Is + L) < V)) or ((Io < C) and (Is < V))) [set comportamento 2]
if ((V < Is) or ((C < Io) and ((Is < V) and (V < (Is + L))))) [set comportamento 1]
  ]
ifelsecomportamento = 1 [set color 64]
  [set color 15]
end

toExtrai-recursos
let ad [recursodisponivel] of posicaoatual
ifelse punido = 0 [calcula-extracao ad]
  [
setperiodo_punicao_individuo (periodo_punicao_individuo - 1)
ifperiodo_punicao_individuo = 0 [set punido 0]
  ]
setEstoque_recursosEstoque_recursos - Consumo_necessario
```

```
set idade idade + 1
ifEstoque_recursos<= 0 [die]
end

to Regenera-ambiente
ifelse (recursodisponivel<recursodisponivelmax)
  [setrecursodisponivel (recursodisponivel + (recursodisponivelmax * (Taxa_de_regeneracao / 100)))]
  [setrecursodisponivelrecursodisponivelmax]
end

to calcula-extracao [ad]
ifelse comportamento = 1
 [
setEstoque_recursos (Estoque_recursos + (ad * (Per_permitida_extracao / 100)))
setrecursodisponivel (ad * (1 - (Per_permitida_extracao / 100)))
   ]
 [
setEstoque_recursos (Estoque_recursos + ad)
setrecursodisponivel 0
if (periodo_punicao_inicial> 0) [calcula-punicao]
 ]
end

to calcula-punicao
set punido 1
setperiodo_punicao_individuo (periodo_punicao_inicial + punicao_progressiva)
setpunicao_progressiva (punicao_progressiva + 1)
end

tomontar_graficos
set-current-plot "Numeroindividuos"
set-current-plot-pen "Seguidores"
plot count individuos with [comportamento = 1]
set-current-plot-pen "NaoSeguidores"
plot count individuos with [comportamento = 2]
set-current-plot "Numeroindividuos2"
set-current-plot-pen "Categoria   01"
plot count individuos with [categoria = 1]
set-current-plot-pen "Categoria   02"
plot count individuos with [categoria = 2]
set-current-plot "QuantidadeTotalRecursos"
set-current-plot-pen "RecursosTotal"
plotQuantidade_Total_recursos
end
```

ANEXO C – TABELA COM VALORES SIMULADOS DURANTE AS ANALISES PRELIMINARES

NII	TR	PPI	PS	NIFT	NIC1	NIC2
1750	5	0	0	4	0	4
1750	5	0	0	3	0	3
1750	5	0	0	2	0	2
1750	5	0	50	58	0	58
1750	5	0	50	62	0	62
1750	5	0	50	44	0	44
1750	5	0	75	71	0	71
1750	5	0	75	82	0	82
1750	5	0	75	87	0	87
1750	5	0	100	0	0	0
1750	5	0	100	0	0	0
1750	5	0	100	0	0	0
1750	5	1	50	278	278	0
1750	5	1	50	291	291	0
1750	5	1	50	294	294	0
1750	5	1	75	34	34	0
1750	5	1	75	31	31	0
1750	5	1	75	41	41	0
1750	5	2	50	348	348	0
1750	5	2	50	382	382	0
1750	5	2	50	356	356	0
1750	5	2	75	94	94	0
1750	5	2	75	64	64	0
1750	5	2	75	65	65	0
1750	5	3	50	377	377	0
1750	5	3	50	369	369	0
1750	5	3	50	384	384	0
1750	5	3	75	76	76	0
1750	5	3	75	74	74	0
1750	5	3	75	77	77	0
1300	5	0	0	4	0	4
1300	5	0	0	9	0	9
1300	5	0	0	6	0	6
1300	5	0	50	105	105	0
1300	5	0	50	103	103	0
1300	5	0	50	107	107	0
1300	5	0	75	287	287	0
1300	5	0	75	286	286	0
1300	5	0	75	269	269	0
1300	5	0	100	1	1	0
1300	5	0	100	1	1	0
1300	5	0	100	0	0	0
1300	5	1	50	644	644	0
1300	5	1	50	650	650	0
1300	5	1	50	646	646	0
1300	5	1	75	88	88	0
1300	5	1	75	89	89	0
1300	5	1	75	76	76	0

1300	5	2	50	650	650	0
1300	5	2	50	650	650	0
1300	5	2	50	650	650	0
1300	5	2	75	173	173	0
1300	5	2	75	180	180	0
1300	5	2	75	186	186	0
1300	5	3	50	650	650	0
1300	5	3	50	645	645	0
1300	5	3	50	643	643	0
1300	5	3	75	147	147	0
1300	5	3	75	138	138	0
1300	5	3	75	141	141	0
875	5	0	0	475	0	475
875	5	0	0	388	0	388
875	5	0	0	419	0	419
875	5	0	50	438	0	438
875	5	0	50	438	0	438
875	5	0	50	438	0	438
875	5	0	75	231	12	219
875	5	0	75	231	12	219
875	5	0	75	228	9	219
875	5	0	100	136	136	0
875	5	0	100	112	112	0
875	5	0	100	107	107	0
875	5	1	50	437	437	0
875	5	1	50	437	437	0
875	5	1	50	437	437	0
875	5	1	75	640	640	0
875	5	1	75	641	641	0
875	5	1	75	640	640	0
875	5	2	50	437	437	0
875	5	2	50	437	437	0
875	5	2	50	437	437	0
875	5	2	75	641	641	0
875	5	2	75	639	639	0
875	5	2	75	639	639	0
875	5	3	50	437	437	0
875	5	3	50	437	437	0
875	5	3	50	437	437	0
875	5	3	75	654	654	0
875	5	3	75	639	639	0
875	5	3	75	638	638	0
1950	5	0	0	1	0	1
1950	5	0	0	1	0	1
1950	5	0	0	2	0	2
1950	5	0	50	18	0	18
1950	5	0	50	18	0	18
1950	5	0	50	20	0	20
1950	5	0	75	17	0	17

1950	5	0	75	15	0	15
1950	5	0	75	16	0	16
1950	5	0	100	0	0	0
1950	5	0	100	0	0	0
1950	5	0	100	0	0	0
1950	5	1	50	166	166	0
1950	5	1	50	169	169	0
1950	5	1	50	157	157	0
1950	5	1	75	11	11	0
1950	5	1	75	10	10	0
1950	5	1	75	7	7	0
1950	5	2	50	268	268	0
1950	5	2	50	274	274	0
1950	5	2	50	304	304	0
1950	5	2	75	17	17	0
1950	5	2	75	18	18	0
1950	5	2	75	18	18	0
1950	5	3	50	245	245	0
1950	5	3	50	259	259	0
1950	5	3	50	236	236	0
1950	5	3	75	21	21	0
1950	5	3	75	25	25	0
1950	5	3	75	17	17	0
1750	7,5	0	0	488	0	488
1750	7,5	0	0	470	0	470
1750	7,5	0	0	478	0	478
1750	7,5	0	50	551	11	540
1750	7,5	0	50	550	3	547
1750	7,5	0	50	568	15	553
1750	7,5	0	75	456	84	372
1750	7,5	0	75	464	102	362
1750	7,5	0	75	453	92	361
1750	7,5	0	100	366	366	0
1750	7,5	0	100	364	364	0
1750	7,5	0	100	368	368	0
1750	7,5	1	50	875	875	0
1750	7,5	1	50	875	875	0
1750	7,5	1	50	875	875	0
1750	7,5	1	75	555	555	0
1750	7,5	1	75	554	554	0
1750	7,5	1	75	570	570	0
1750	7,5	2	50	875	875	0
1750	7,5	2	50	875	875	0
1750	7,5	2	50	875	875	0
1750	7,5	2	75	464	464	0
1750	7,5	2	75	481	481	0
1750	7,5	2	75	496	496	0
1750	7,5	3	50	875	875	0
1750	7,5	3	50	875	875	0

1750	7,5	3	50	875	875	0
1750	7,5	3	75	473	473	0
1750	7,5	3	75	488	488	0
1750	7,5	3	75	464	464	0
1300	7,5	0	0	261	0	261
1300	7,5	0	0	231	0	231
1300	7,5	0	0	247	0	247
1300	7,5	0	50	658	9	649
1300	7,5	0	50	658	8	650
1300	7,5	0	50	664	14	650
1300	7,5	0	75	438	113	325
1300	7,5	0	75	446	121	325
1300	7,5	0	75	438	113	325
1300	7,5	0	100	149	149	0
1300	7,5	0	100	156	156	0
1300	7,5	0	100	160	160	0
1300	7,5	1	50	650	650	0
1300	7,5	1	50	650	650	0
1300	7,5	1	50	650	650	0
1300	7,5	1	75	930	930	0
1300	7,5	1	75	932	932	0
1300	7,5	1	75	928	928	0
1300	7,5	2	50	650	650	0
1300	7,5	2	50	650	650	0
1300	7,5	2	50	650	650	0
1300	7,5	2	75	928	928	0
1300	7,5	2	75	928	928	0
1300	7,5	2	75	930	930	0
1300	7,5	3	50	650	650	0
1300	7,5	3	50	650	650	0
1300	7,5	3	50	650	650	0
1300	7,5	3	75	935	935	0
1300	7,5	3	75	932	932	0
1300	7,5	3	75	929	929	0
875	7,5	0	0	875	0	875
875	7,5	0	0	875	0	875
875	7,5	0	0	875	0	875
875	7,5	0	50	875	437	438
875	7,5	0	50	875	437	438
875	7,5	0	50	875	437	438
875	7,5	0	75	875	656	219
875	7,5	0	75	875	656	219
875	7,5	0	75	875	656	219
875	7,5	0	100	875	875	0
875	7,5	0	100	875	875	0
875	7,5	0	100	875	875	0
875	7,5	1	50	437	437	0
875	7,5	1	50	437	437	0
875	7,5	1	50	437	437	0

875	7,5	1	75	656	656	0
875	7,5	1	75	656	656	0
875	7,5	1	75	656	656	0
875	7,5	2	50	437	437	0
875	7,5	2	50	437	437	0
875	7,5	2	50	437	437	0
875	7,5	2	75	656	656	0
875	7,5	2	75	656	656	0
875	7,5	2	75	656	656	0
875	7,5	3	50	437	437	0
875	7,5	3	50	437	437	0
875	7,5	3	50	437	437	0
875	7,5	3	75	656	656	0
875	7,5	3	75	656	656	0
875	7,5	3	75	656	656	0
1950	7,5	0	0	418	0	418
1950	7,5	0	0	419	0	419
1950	7,5	0	0	417	0	417
1950	7,5	0	50	483	8	475
1950	7,5	0	50	456	9	447
1950	7,5	0	50	492	9	483
1950	7,5	0	75	414	39	375
1950	7,5	0	75	418	39	379
1950	7,5	0	75	396	37	359
1950	7,5	0	100	101	101	0
1950	7,5	0	100	105	105	0
1950	7,5	0	100	116	116	0
1950	7,5	1	50	907	907	0
1950	7,5	1	50	909	909	0
1950	7,5	1	50	913	913	0
1950	7,5	1	75	586	586	0
1950	7,5	1	75	558	558	0
1950	7,5	1	75	562	562	0
1950	7,5	2	50	932	932	0
1950	7,5	2	50	932	932	0
1950	7,5	2	50	935	935	0
1950	7,5	2	75	537	537	0
1950	7,5	2	75	523	523	0
1950	7,5	2	75	485	485	0
1950	7,5	3	50	932	932	0
1950	7,5	3	50	926	926	0
1950	7,5	3	50	924	924	0
1950	7,5	3	75	477	477	0
1950	7,5	3	75	471	471	0
1950	7,5	3	75	489	489	0
1750	6	0	0	344	0	344
1750	6	0	0	322	0	322
1750	6	0	0	312	0	312
1750	6	0	50	344	1	343

1750	6	0	50	341	0	341
1750	6	0	50	359	0	359
1750	6	0	75	283	1	282
1750	6	0	75	267	7	260
1750	6	0	75	280	5	275
1750	6	0	100	40	40	0
1750	6	0	100	28	28	0
1750	6	0	100	34	34	0
1750	6	1	50	645	645	0
1750	6	1	50	646	646	0
1750	6	1	50	640	640	0
1750	6	1	75	108	108	0
1750	6	1	75	112	112	0
1750	6	1	75	111	111	0
1750	6	2	50	684	684	0
1750	6	2	50	665	665	0
1750	6	2	50	678	678	0
1750	6	2	75	155	155	0
1750	6	2	75	171	171	0
1750	6	2	75	188	188	0
1750	6	3	50	667	667	0
1750	6	3	50	654	654	0
1750	6	3	50	654	654	0
1750	6	3	75	175	175	0
1750	6	3	75	155	155	0
1750	6	3	75	171	171	0
1300	6	0	0	15	0	15
1300	6	0	0	13	0	13
1300	6	0	0	11	0	11
1300	6	0	50	595	0	595
1300	6	0	50	597	0	597
1300	6	0	50	603	0	603
1300	6	0	75	319	1	318
1300	6	0	75	318	1	317
1300	6	0	75	18	0	18
1300	6	0	100	5	5	0
1300	6	0	100	5	5	0
1300	6	0	100	3	3	0
1300	6	1	50	650	650	0
1300	6	1	50	650	650	0
1300	6	1	50	650	650	0
1300	6	1	75	559	559	0
1300	6	1	75	568	568	0
1300	6	1	75	558	558	0
1300	6	2	50	650	650	0
1300	6	2	50	650	650	0
1300	6	2	50	650	650	0
1300	6	2	75	555	555	0
1300	6	2	75	573	573	0

1300	6	2	75	548	548	0
1300	6	3	50	650	650	0
1300	6	3	50	650	650	0
1300	6	3	50	650	650	0
1300	6	3	75	554	554	0
1300	6	3	75	513	513	0
1300	6	3	75	560	560	0
875	6	0	0	683	0	683
875	6	0	0	686	0	686
875	6	0	0	680	0	680
875	6	0	50	507	69	438
875	6	0	50	500	62	438
875	6	0	50	503	65	438
875	6	0	75	582	363	219
875	6	0	75	576	357	219
875	6	0	75	590	371	219
875	6	0	100	635	635	0
875	6	0	100	624	624	0
875	6	0	100	617	617	0
875	6	1	50	437	437	0
875	6	1	50	437	437	0
875	6	1	50	437	437	0
875	6	1	75	656	656	0
875	6	1	75	656	656	0
875	6	1	75	656	656	0
875	6	2	50	437	437	0
875	6	2	50	437	437	0
875	6	2	50	437	437	0
875	6	2	75	656	656	0
875	6	2	75	656	656	0
875	6	2	75	656	656	0
875	6	3	50	437	437	0
875	6	3	50	437	437	0
875	6	3	50	437	437	0
875	6	3	75	656	656	0
875	6	3	75	656	656	0
875	6	3	75	656	656	0
1950	6	0	0	130	0	130
1950	6	0	0	132	0	132
1950	6	0	0	121	0	121
1950	6	0	50	145	0	145
1950	6	0	50	146	0	146
1950	6	0	50	123	0	123
1950	6	0	75	142	2	140
1950	6	0	75	152	0	152
1950	6	0	75	166	2	164
1950	6	0	100	45	45	0
1950	6	0	100	48	48	0
1950	6	0	100	48	48	0

1950	6	1	50	542	542	0
1950	6	1	50	568	568	0
1950	6	1	50	538	538	0
1950	6	1	75	293	293	0
1950	6	1	75	309	309	0
1950	6	1	75	294	294	0
1950	6	2	50	621	621	0
1950	6	2	50	605	605	0
1950	6	2	50	608	608	0
1950	6	2	75	160	160	0
1950	6	2	75	127	127	0
1950	6	2	75	139	139	0
1950	6	3	50	601	601	0
1950	6	3	50	589	589	0
1950	6	3	50	593	593	0
1950	6	3	75	100	100	0
1950	6	3	75	116	116	0
1950	6	3	75	124	124	0