LUÍS GUSTAVO LUDESCHER

**Efeitos de estratégias de distribuição de
recursos e perfis de perseverança na dinâmica
de coalizões baseadas em agentes**

São Paulo

2019

LUÍS GUSTAVO LUDESCHER

**Efeitos de estratégias de distribuição de recursos e perfis
de perseverança na dinâmica de coalizões baseadas em
agentes**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciências.

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-graduação)

Orientador: Prof. Dr. Jaime Simão Sichman

São Paulo

2019

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

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Ludescher, Luís Gustavo

Efeitos de estratégias de distribuição de recursos e perfis de perseverança na dinâmica de coalizões baseadas em agentes / L. G. Ludescher -- versão corr. -- São Paulo, 2019.

74 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Simulação baseada em agentes 2.Coalizões baseadas em confiança
3.Public goods game I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar ao meu orientador, Prof. Dr. Jaime Simão Sichman, que ajudou-me a transformar ideias em contribuições concretas, sempre muito atencioso e perspicaz, estimulando o aprimoramento contínuo do trabalho através das perguntas certas e de intervenções providenciais.

Agradeço à Prof^a. Dr^a. Anarosa Alves Franco Brandão, não apenas por suas contribuições ao trabalho, como membro da banca de qualificação, mas especialmente por seu apoio ao longo dos últimos anos e por sua generosidade e sensibilidade.

Agradeço à Prof^a. Dr^a. Marta Teresa da Silva Arretche tanto por sua participação na banca de qualificação quanto na banca de defesa, agregando grande valor ao observar o trabalho sob a perspectiva das ciências humanas.

Agradeço à Prof^a. Dr^a. Diana Francisca Adamatti por sua participação na banca de defesa, contribuindo ao enriquecimento do trabalho com sugestões objetivas e comentários precisos.

Agradeço aos colegas e amigos do LTI pela colaboração em trabalhos de disciplinas, pelas sugestões diversas a este trabalho e também por estarem sempre dispostos a ajudar.

Agradeço, por fim, aos meus familiares e amigos próximos, sempre muito presentes e participativos, por todo o apoio oferecido e pelo incentivo para que fosse concluída mais esta etapa.

Resumo

LUDESCHER, L. G. Efeitos de estratégias de distribuição de recursos e perfis de perseverança na dinâmica de coalizões baseadas em agentes. São Paulo: EPUSP, 2019. 74 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação e Sistemas Digitais).

Num sistema político típico, os indivíduos de uma sociedade devem escolher representantes políticos cujo papel é administrar o bem público, decidindo de que forma os recursos devem ser distribuídos à população. Na disputa pelo poder, líderes políticos tentam angariar apoio da população através de campanhas que podem ser financiadas por coalizões formadas por indivíduos que tenham algum interesse em fortalecer determinado líder. O objetivo deste trabalho é propor um modelo simplificado de tal sistema para avaliar a dinâmica de formação dessas coalizões, inspirado no *Public Goods Game*. Em particular, deseja-se entender qual o impacto de contribuições e de estratégias de distribuição de recursos na quantidade, tamanho e estabilidade de tais coalizões. Para tal, foi utilizada uma abordagem de simulação baseada em agentes, na qual foram consideradas três diferentes estratégias de líderes (altruísta, intermediária e egoísta) e três diferentes perfis de perseverança de indivíduos (paciente, intermediário e impaciente). Os resultados obtidos nos experimentos, cuja implementação foi feita no ambiente *Repast Symphony*, indicaram que líderes egoístas estimulam a formação de grandes coalizões e promovem maior heterogeneidade da distribuição de recursos, enquanto os altruístas levam à formação de coalizões pequenas e instáveis, melhorando o desempenho coletivo. Por outro lado, indivíduos impacientes promovem um ambiente de intensa competição por recursos, onde coalizões de médio porte tornam-se dominantes e seus membros acabam por concentrar enormes quantidades de recursos.

Palavras-chave: Simulação baseada em agentes. Coalizões baseadas em confiança. *Public goods game*.

Abstract

LUDESCHER, L. G. Efeitos de estratégias de distribuição de recursos e perfis de perseverança na dinâmica de coalizões baseadas em agentes. São Paulo: EPUSP, 2019. 74 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação e Sistemas Digitais).

In a typical political system, individuals in a society should choose political representatives whose role is to manage the public good, deciding how resources should be distributed to the population. In the power struggle, political leaders try to garner support from the population through campaigns that can be funded by coalitions of individuals who have some interest in favoring a particular leader. The goal of this work is to propose a simplified model of such a system in order to evaluate the dynamics of these coalitions, inspired by the Public Goods Game. In particular, we aim to understand the impact of contributions and resource distribution strategies on the quantity, size and stability of such coalitions. For this, we used an agent-based simulation approach considering three different leader strategies (altruistic, intermediate and egoistic) and three different perseverance profiles of individuals (patient, intermediate and impatient). The results obtained in our experiments, which were implemented on the Repast Symphony framework, indicate that egoistic leaders stimulate the formation of large coalitions and promote a more heterogeneous distribution of resources, while altruistic ones lead to the formation of small and unstable coalitions, improving collective performance. On the other hand, impatient individuals foster an environment of intense competition for resources, where midsize coalitions become dominant and their members end up concentrating huge amounts of resources.

Keywords: Agent-based simulation. Trust-based coalitions. Public goods game.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Rede livre de escala (80 agentes).	31
Figura 2 – Etapas da simulação.	33
Figura 3 – Número de Coalizões (Por Perfil de Líder)	44
Figura 4 – Número de Coalizões (Por Perfil de Perseverança)	45
Figura 5 – Número de Membros de Coalizões (Por Perfil de Líder)	46
Figura 6 – Número de Membros de Coalizões (Por Perfil de Perseverança)	47
Figura 7 – Número de Membros / Coalizão (Por Perfil de Líder)	48
Figura 8 – Número de Membros / Coalizão (Por Perfil de Perseverança)	49
Figura 9 – Total de Contribuições (Por Perfil de Líder)	50
Figura 10 – Total de Contribuições (Por Perfil de Perseverança)	51
Figura 11 – Contribuições / Membro de Coalizão (Por Perfil de Líder)	52
Figura 12 – Contribuições / Membro de Coalizão (Por Perfil de Perseverança)	53
Figura 13 – Recursos Disponíveis / Indivíduo (Por Perfil de Líder)	54
Figura 14 – Recursos Disponíveis / Indivíduo (Por Perfil de Perseverança)	55
Figura 15 – Distribuição dos Recursos (Por Perfil de Líder)	56
Figura 16 – Distribuição dos Recursos (Por Perfil de Perseverança)	57
Figura 17 – Distribuição de Membros Pelas Coalizões (Por Perfil de Líder)	59
Figura 18 – Distribuição de Membros Pelas Coalizões (Por Perfil de Perseverança)	59

Lista de tabelas

Tabela 1 – Configurações Experimentais	40
Tabela 2 – Parâmetros Gerais	40
Tabela 3 – Modelo de Tabela de Resultados	41
Tabela 4 – Teste de Bartlett	43
Tabela 5 – Teste t de Welch - Sumário	43
Tabela 6 – Número de Coalizões	44
Tabela 7 – Número de Membros de Coalizões	46
Tabela 8 – Número de Membros / Coalizão	47
Tabela 9 – Total de Contribuições	49
Tabela 10 – Contribuições / Membro de Coalizão	50
Tabela 11 – Total de Recursos Distribuídos	51
Tabela 12 – Recursos Disponíveis / Indivíduo	53
Tabela 13 – Distribuição dos Recursos	56
Tabela 14 – Distribuição de Membros Pelas Coalizões	58
Tabela 15 – Teste t de Welch - Número de Coalizões	67
Tabela 16 – Teste t de Welch - Número de Membros de Coalizões	68
Tabela 17 – Teste t de Welch - Quantidade de Contribuições	69
Tabela 18 – Teste t de Welch - Total de Recursos Distribuídos	71
Tabela 19 – Teste t de Welch - Recursos Disponíveis	72

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Motivação	15
1.2	Objetivos	17
1.3	Metodologia	18
1.4	Resultados Esperados	19
1.5	Organização do Documento	20
2	CONCEITOS BÁSICOS	21
2.1	<i>Public Goods Game</i>	21
2.2	Simulação Baseada em Agentes	23
2.3	Confiança e Reputação	24
2.4	Redes Sociais	26
2.5	Coalizões de Agentes	27
3	MODELO	29
3.1	Visão Geral	29
3.2	Cenário	29
3.3	Fator de Ganho	30
3.4	Estratégias de Líderes	30
3.5	Perfis de Perseverança	31
3.6	Confiança	32
3.7	Ciclos da Simulação	32
3.7.1	Formação de Coalizões	33
3.7.2	Contribuições dos Agentes	34
3.7.3	Definição da Coalizão Vencedora	35
3.7.4	Administração do Líder da Coalizão Vencedora	36
3.7.5	Avaliação dos Recursos Recebidos	36
4	EXPERIMENTOS E ANÁLISE	39
4.1	Implementação	39
4.2	Cenários	39
4.3	Resultados	40
4.3.1	Análise Estatística	41
4.3.2	Número de Coalizões e Seus Membros	43
4.3.3	Quantidade de Contribuições	47
4.3.4	Recursos Distribuídos	50

4.3.5	Recursos Disponíveis	51
4.3.6	Distribuição dos Recursos Disponíveis	53
4.3.7	Distribuição de Membros Pelas Coalizões	56
5	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS	63
A	TABELAS DE RESULTADOS DO TESTE T DE WELCH	67

1 Introdução

Este capítulo tem como propósito apresentar a motivação, os objetivos, a metodologia e os resultados esperados do trabalho.

1.1 Motivação

No século IV a.C., Aristóteles, em seu trabalho *Politics* ([WIKIMEDIA, 2019e](#)), fundamentou as bases filosóficas da democracia, estabelecendo a liberdade e a igualdade como os pilares que devem sustentá-la. Por um lado, tais conceitos podem ser conflitantes em uma sociedade no sentido de que a liberdade de um indivíduo é limitada pela liberdade dos demais, portanto a igualdade seria alcançada em um cenário em que todos os indivíduos tivessem suas liberdades individuais igualmente limitadas. Por outro lado, a liberdade a qual Aristóteles se refere é a de um indivíduo ser livre para exercer o poder político, em contraposição a regimes monárquicos ou oligárquicos e à escravidão. Porém, tal poder deveria ser igualmente distribuído entre todos, de modo que a posse de riquezas ou a posição social não afetassem tal distribuição.

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, a democracia moderna começou a se expandir, especialmente na Europa Ocidental, apesar das ditaduras estabelecidas na Península Ibérica. Mas foi a partir do final da Guerra Fria que os movimentos democráticos ganharam mais força e a democracia representativa tornou-se o sistema político vigente na maioria dos países, especialmente no Ocidente ([WIKIMEDIA, 2019d](#)). Entretanto, na prática a democracia ([WIKIMEDIA, 2019c](#)) apresenta inúmeras limitações. Em primeiro lugar, o poder do indivíduo comum, ou sua liberdade para exercer o poder, é bastante restrito. O voto, considerado o principal instrumento democrático, oferece poder bastante limitado, uma vez que as opções de candidatos são poucas e a maioria da população não participa de sua seleção e tampouco os conhece adequadamente, ficando em geral a cargo de partidos políticos a escolha e exposição dos candidatos. Portanto, o poder na prática é bastante concentrado nos agentes políticos ao invés de distribuído de maneira mais equilibrada pela população. Tal concentração de poder acaba oferecendo um estímulo bastante grande para a prática da corrupção. Não por acaso, é evidente o descontentamento generalizado das pessoas com a política, alimentado pela percepção crescente de impotência diante dos sistemas estabelecidos.

Na maioria dos casos, principalmente para cargos políticos de grau hierárquico mais elevado, uma quantidade grande de cidadãos (muitas vezes da ordem das dezenas de milhões ou até centenas de milhões) é responsável por eleger alguns poucos representantes. Os candidatos são muitas vezes completos desconhecidos da grande maioria das pessoas,

as quais dependem totalmente das mídias e da divulgação das campanhas políticas para conhecer suas ideias. Tal fato abre muita margem para manipulação: não importa quem os candidatos são ou quais as suas reais qualidades e ideias, importa apenas a impressão das pessoas sobre eles. Com o advento das mídias sociais, a batalha de convencimento das pessoas tornou-se ainda mais voraz, fazendo-se uso de diversas estratégias, das mais simples como a divulgação de *fake news* às mais elaboradas como o uso de técnicas de manipulação psicológica. Fato é que o uso das redes sociais para a realização de campanhas políticas tornou-se chave para o sucesso de candidatos, desde o uso mais intensivo de tal estratégia nas campanhas presidenciais de Barack Obama nos Estados Unidos em 2008 e 2012 até culminar com o escândalo da Cambridge Analytica, uma empresa especializada em manipulação da opinião pública através de mídias sociais e que influenciou diversas eleições no mundo todo, dentre as quais a eleição de Donald Trump nos Estados Unidos e o Brexit no Reino Unido.

Dado que a maioria das pessoas têm poucas referências sobre os candidatos nos quais devem votar, elas se tornam ainda mais susceptíveis à manipulação, de modo que a propaganda é, portanto, a forma mais eficaz de conduzir uma campanha eleitoral ao sucesso, seja ela através de mídias sociais ou de mídias mais tradicionais. Quanto mais recursos determinada campanha publicitária receber, maior será a sua projeção e consequentemente maior sua chance de sucesso. Isso acaba criando um incentivo bastante grande ao financiamento privado de campanhas por pessoas ou empresas que tenham algum interesse em determinado candidato e que em troca esperam ser beneficiadas ou recompensadas caso o candidato seja eleito representante político. Tal distorção afeta drasticamente o princípio democrático básico de empoderamento igualitário da população, dado que quem dispõe de mais recursos tem maior capacidade de influenciar os resultados de eleições e, portanto, mais poder, consequentemente restringindo ainda mais as liberdades da maioria das pessoas e ainda levando a uma distribuição desigual de benefícios, já que os representantes políticos tendem a beneficiar mais aqueles que ofereceram (ou que podem oferecer) mais recursos às suas campanhas.

O trabalho de [Gilens e Page \(2014\)](#) traz evidências do quanto as políticas públicas são influenciadas pelas elites dominantes no contexto político-social estadunidense. Usando um conjunto expressivo de dados políticos coletados ao longo de mais de 20 anos, o estudo verifica que os interesses das elites e de determinados grupos ou corporações afetam de maneira decisiva as políticas governamentais, enquanto os interesses comuns ou da população em geral têm impacto mínimo sobre as decisões políticas. Tal estudo reforça a tese do pluralismo enviesado, a qual sugere que a distribuição do poder e da influência no processo político tende a favorecer interesses corporativos.

1.2 Objetivos

A partir do cenário apresentado na seção 1.1, a ideia deste trabalho é simular um modelo simplificado de organização política em que campanhas eleitorais podem ser financiadas por indivíduos de uma sociedade e seus representantes políticos devem administrar o bem público. No modelo, o financiamento de campanhas eleitorais corresponde a indivíduos contribuindo com recursos próprios para coalizões formadas em torno de certos líderes, as quais podem ser entendidas como agrupamentos de indivíduos para apoio a tais líderes. Um representante político, por sua vez, corresponde a um líder de coalizão selecionado temporariamente para decidir de que forma os recursos disponíveis serão distribuídos à população. Para atingir este objetivo, serão utilizadas técnicas de simulação baseada em agentes, as quais permitem a modelagem dos indivíduos, do ambiente de imersão e da estrutura organizacional, permitindo observar os fenômenos emergentes a partir da interação de tais indivíduos entre si.

Espera-se que a simulação de tal fenômeno permita uma compreensão mais clara de alguns dos mecanismos e incentivos estruturais que levam representantes políticos a beneficiarem de maneira desigual a população ou, na linguagem do modelo proposto, que levam certos líderes a distribuírem recursos de maneira mais heterogênea. Além disso, pretende-se entender de que forma indivíduos são estimulados a contribuir para coalizões, como são recompensados por isso, de que maneira se estabelece a dinâmica de formação de coalizões para apoiar certos líderes e quão estáveis ou instáveis podem ser tais coalizões.

Deve-se considerar também as diferenças de estratégias de líderes e perfis de indivíduos. Por um lado, líderes podem seguir diferentes estratégias: alguns tendem a beneficiar mais as suas próprias coalizões, mesmo que desfavorecendo outros grupos, já outros podem distribuir os recursos de maneira mais homogênea na tentativa de obter ainda mais apoiadores. Por outro lado, indivíduos podem ter diferentes níveis de tolerância e satisfação em relação aos recursos recebidos: alguns podem ser mais pacientes à espera de melhores recursos, outros ficam satisfeitos mais facilmente, alguns são mais impacientes e buscam resultados mais rápidos e há também aqueles que dificilmente se satisfazem.

Em suma, este trabalho tem como propósito responder a três questões principais vinculadas ao tema:

P1: De que forma a possibilidade de indivíduos contribuírem com recursos próprios a coalizões afeta a distribuição de recursos à população?

Esta questão trata-se de verificar o quanto um líder que tenha recebido recursos de parte da população tende a priorizar aqueles que o apoiaram em detrimento dos demais;

P2: Como é a dinâmica de formação de coalizões de apoio a líderes?

A dinâmica de formação de coalizões pode ser entendida como: o número de coalizões formadas; a quantidade de membros por coalizão; as diferenças de tamanho entre as coalizões formadas; e a estabilidade das coalizões, ou seja, a taxa de entrada e saída de membros;

P3: De que forma diferentes estratégias de líderes e perfis de indivíduos afetam a distribuição de recursos e a formação de coalizões?

Líderes podem seguir diferentes estratégias para a distribuição de recursos à população, bem como indivíduos podem ter diferentes níveis de tolerância e satisfação em relação aos recursos recebidos. Considerando que uma sociedade pode ser composta por diferentes combinações de perfis de indivíduos e líderes, pretende-se verificar como isso impacta a dinâmica das coalizões e a heterogeneidade na distribuição dos recursos. Para tanto, assume-se que estratégias de líderes sejam independentes de perfis de indivíduos e, portanto, tenham impactos que podem ser analisados separadamente.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada subdividiu-se nas etapas de modelagem, definição das ferramentas, implementação, experimentos e análise de resultados, conforme especificado a seguir.

1.3.1 Modelagem

Primeiramente foi criado um modelo baseado em agentes para ser posteriormente simulado. Nesta etapa foram definidos os seguintes aspectos:

- parâmetros de entrada para a simulação;
- maneira como os agentes são interconectados;
- estratégias dos líderes e os perfis dos indivíduos;
- regras de interação entre os agentes;
- maneira como as coalizões são formadas;
- método para determinação dos líderes vencedores;
- forma de atuação dos líderes vencedores;
- critérios para avaliação dos líderes;
- variáveis de saída para análise.

1.3.2 Definição das Ferramentas

Definido o modelo, foram avaliadas as ferramentas para sua implementação. Tal avaliação levou em conta as qualidades gerais das plataformas e a adequação de cada uma delas ao modelo proposto, bem como sua robustez e leveza. Além disso também foram consideradas na avaliação as linguagens de programação a serem utilizadas, a disponibilidade de documentação e tutoriais e a possibilidade de integração com outras ferramentas.

1.3.3 Implementação

Em seguida, o modelo foi implementado em etapas. Inicialmente, foi criado o método de formação da rede de agentes de acordo com parâmetros básicos. As regras de interação dos agentes e formação das coalizões foram então implementadas. Posteriormente foram criados os métodos de seleção, atuação e avaliação dos líderes. Adicionalmente, os perfis dos indivíduos e líderes foram incluídos e parametrizados e foram criadas as variáveis de saída.

1.3.4 Experimentos e Análise

Por fim, os experimentos foram definidos de acordo com diferentes combinações de perfis de indivíduos e líderes e então executados repetidas vezes para fins estatísticos. Os dados obtidos foram processados utilizando-se uma ferramenta apropriada e os resultados foram então analisados visando responder as perguntas especificadas na seção 1.2.

1.4 Resultados Esperados

A princípio, o modelo de financiamento de campanhas tende a produzir um incentivo estrutural para a desigualdade, dado que representantes eleitos são de certa forma estimulados a beneficiarem mais os seus apoiadores em detrimento dos demais membros da população, promovendo uma distribuição desigual de benefícios ao priorizarem os interesses de determinados grupos, conforme pode ser verificado em [Gilens e Page \(2014\)](#). Por outro lado, a priorização excessiva de pequenos grupos pode levar a um descontentamento ainda maior de grande parte da população, diminuindo a chance de determinado líder se manter no poder. Portanto, os resultados esperados são muito dependentes das estratégias que cada líder adotar e dos perfis de indivíduos presentes na população.

Considerando que a estratégia de um líder se refira a quanto ele está disposto a favorecer seu próprio grupo apoiador em detrimento dos demais, pode-se esperar que tanto líderes que optem por favorecer exageradamente seus apoiadores quanto aqueles que optem por uma distribuição mais homogênea de recursos pela população tendem a ser pouco

vitoriosos. No primeiro caso, possivelmente haveria uma grande insatisfação da maior parte da sociedade em relação a atuação de seu líder; já no segundo caso, as expectativas dos apoiadores tendem a não ser contempladas. Portanto, um líder que siga uma estratégia mais equilibrada de modo a satisfazer suficientemente os seus apoiadores sem desagradar tanto o resto da população tende naturalmente a ser mais bem-sucedido.

No que se refere aos perfis dos indivíduos, pode-se considerar diferentes graus de tolerância e satisfação. Uma população composta por indivíduos menos tolerantes, com expectativas mais elevadas sobre sua retribuição, tende a ter um maior número de indivíduos interessados em contribuir para coalizões, e conseqüentemente mais competição entre as coalizões formadas. Se, por um lado, isso deve favorecer os líderes cujas estratégias favoreçam mais seus apoiadores, por outro lado as coalizões provavelmente devem ser mais instáveis, visto que a concentração de recursos tende a ser elevada, e portanto gerando um grau de insatisfação maior de grande parte dos indivíduos. Considerando uma população composta por indivíduos mais tolerantes, com menores expectativas sobre sua retribuição, esta tende a ter menos interessados em contribuir para coalizões, e mesmo aqueles que formarem coalizões devem tolerar líderes que ofereçam menos recursos. Desta forma, as coalizões tendem a ser pequenas, porém mais estáveis, e a distribuição de recursos possivelmente seria mais homogênea.

1.5 Organização do Documento

No capítulo 2 são apresentados os conceitos básicos que fundamentam este trabalho, no capítulo 3 é apresentado o modelo, no capítulo 4 são apresentados os experimentos e a análise dos resultados e, por fim, as conclusões são apresentadas no capítulo 5.

2 Conceitos Básicos

Este capítulo tem como propósito apresentar os alicerces conceituais do trabalho.

2.1 *Public Goods Game*

O *Public Goods Game* (FISCHBACHER; GÄCHTER; FEHR, 2001) é um jogo proposto em economia experimental para o estudo de comportamentos sociais. Em sua versão mais comum, o jogo é composto por certo número de jogadores reunidos em torno de um pote representando o bem público. Inicialmente, os jogadores recebem quantias iguais de moedas. A cada rodada, os jogadores devem decidir o quanto pretendem oferecer ao pote. A contribuição de cada jogador ao bem público não é revelada aos demais. Em seguida, o total arrecadado no pote é multiplicado por um fator de ganho, o qual representa o ganho promovido pela cooperação. Tal fator de ganho deve ser maior do que 1 e menor do que o número de jogadores. Ao final de uma rodada, o valor disponível no pote é dividido igualmente entre todos os jogadores.

Evidentemente, do ponto de vista colaborativo, se todos os jogadores no *Public Goods Game* sempre oferecessem tudo o que possuem ao bem público, o benefício coletivo seria maximizado, já que o valor correspondente a todas as moedas presentes no sistema seria multiplicado pelo fator de ganho. Entretanto, do ponto de vista individual, a estratégia mais favorável para um jogador é não oferecer nenhuma contribuição, já que neste caso ele receberia a mesma fatia do bem público, mas não precisaria dividir as suas posses com os demais¹. Dado que as contribuições de cada jogador são desconhecidas pelos demais, não é possível que os jogadores façam nenhum tipo de acordo entre eles, já que não seria possível identificar aqueles que eventualmente descumprissem um acordo. Além disso, retaliações também não são possíveis, já que os valores arrecadados no pote são sempre divididos igualmente. Desta forma, a estrutura do jogo acaba incentivando a adoção da estratégia mais individualista e o jogo, em teoria, termina sem que nenhum jogador faça qualquer contribuição ao bem público. Conforme mostram alguns experimentos (FISCHBACHER; GÄCHTER; FEHR, 2001), ainda que nas primeiras rodadas do jogo existam jogadores que tentem seguir estratégias mais colaborativas, contribuindo ao bem público por iniciativa própria e consequentemente estimulando alguns outros a também contribuírem, tal comportamento cooperativo tende a deixar de existir conforme o jogo avança.

O trabalho de Burger e Kolstad (2009) propõe uma variação do *Public Goods Game*

¹ Note que isto não se aplicaria se o valor do fator de ganho pudesse ser superior ao número total de jogadores.

em que os jogadores podem formar coalizões. De acordo com as regras propostas, cada jogador inicialmente deve definir se deseja ou não participar de uma coalizão naquela rodada antes de decidir se pretende oferecer alguma contribuição ao bem público. Os jogadores que decidirem fazer parte da coalizão então manifestam suas preferências em relação a contribuir ou não ao bem público. Se a maioria dos membros da coalizão optar por contribuir, todos os membros devem contribuir, caso contrário, nenhum deles pode fazê-lo. Já os jogadores que decidirem não fazer parte da coalizão tomam suas decisões individualmente. Da mesma forma que na versão clássica do jogo, o total arrecadado é então dividido igualmente entre todos os jogadores. Fazer parte da coalizão, portanto, diminui o risco de seus membros, já que a escolha da maioria deve ser seguida por todos e, consequentemente, se um membro da coalizão faz uma contribuição, ele tem a garantia de que pelo menos todos os outros membros farão o mesmo. Por outro lado, fazer parte de uma coalizão diminui a autonomia de um jogador, visto que suas ações passam a depender das decisões dos demais. Adicionalmente, o trabalho também apresenta um cenário em que é introduzido um grau de incerteza, de modo que a cada rodada há certa probabilidade, conhecida por todos os jogadores, de o montante arrecadado ao final da rodada não ser distribuído aos participantes mas, para compensar, o valor do fator de ganho é ajustado de modo a manter o mesmo retorno médio esperado. O estudo faz uma avaliação experimental do quanto a cooperação é afetada pela possibilidade de participação em uma coalizão e pelo grau de incerteza introduzido e verifica-se também a relação entre cada cenário experimental e o tamanho da coalizão formada. O estudo então conclui que a possibilidade de formação de uma coalizão favorece o aumento das contribuições ao bem público, mas tais contribuições tendem a diminuir com o aumento do grau de incerteza, mesmo que o retorno esperado não se altere. Por fim, quanto maior o retorno individual esperado (fator de ganho), maior tende a ser o tamanho da coalizão.

Já nos experimentos propostos em [Hamman, Weber e Woon \(2011\)](#), analisa-se outra variação do *Public Goods Game* em que coalizões também podem ser formadas; entretanto, as contribuições dos seus membros não são decididas por maioria mas sim por um líder ao qual é atribuído o papel de definir o quanto cada membro deve oferecer ao bem público. Também neste caso, o total arrecadado é dividido igualmente entre todos os jogadores. O estudo avalia três diferentes casos: no primeiro, os jogadores tomam decisões individuais, ou seja, de maneira descentralizada, sobre o quanto desejam oferecer ao bem público; no segundo, os jogadores devem escolher um líder que por sua vez, de maneira centralizada, tem que decidir o quanto cada membro de sua coalizão deve contribuir; já o terceiro é mais flexível, permitindo aos jogadores decidirem se querem participar da coalizão e, consequentemente, subordinar-se às escolhas de um líder ou se preferem tomar decisões de maneira autônoma. Adicionalmente, o estudo subdivide cada um dos três casos em dois outros, um em que a comunicação entre os jogadores é permitida e outro em que ela é banida, e então avalia o efeito que a comunicação, ou a sua ausência, produz nos

resultados finais. Os resultados apresentados indicam que no caso em que as decisões são exclusivamente individuais, a cooperação entre os jogadores é comprometida, já que os jogadores tendem a não oferecer contribuições ao bem público, ainda que as contribuições aumentem um pouco caso os jogadores possam se comunicar. Por outro lado, no caso em que as decisões são necessariamente centralizadas em um líder, a cooperação é potencializada, visto que os jogadores acabam escolhendo líderes que exigem contribuições maiores e de maneira mais igualitária. Por fim, no caso mais flexível em que os jogadores podem tanto participar da coalizão quanto tomar decisões de maneira autônoma, a cooperação só é potencializada quando os jogadores têm permissão para se comunicar, possibilitando o estabelecimento de relações de confiança e consequentemente a formação de coalizões maiores.

Por fim, é importante destacar que o *Public Goods Game* clássico diverge dos sistemas políticos existentes em certos aspectos fundamentais. Em primeiro lugar, na prática os indivíduos não têm autonomia total para decidir se contribuem ou não ao bem público, mas sim devem oferecer contribuições compulsórias, geralmente na forma de impostos. Além disso, as contribuições arrecadadas não são diretamente multiplicadas por um fator de ganho e então igualmente redistribuídas, cabendo a um líder, ou conjunto de líderes, a administração do bem público. Consequentemente, o “fator de ganho” é afetado pela capacidade dos líderes utilizarem adequadamente os recursos públicos e retornarem os benefícios à sociedade na forma de bens e serviços. Entretanto, a maneira como os benefícios são distribuídos também é definida pelos líderes, os quais decidem quais interesses, grupos e regiões serão favorecidos. Portanto, se por um lado os sistemas políticos reais a princípio evitam que indivíduos deixem de contribuir ao bem público, por outro lado tais sistemas possibilitam que indivíduos se organizem para apoiar certos candidatos a cargos públicos esperando favorecimentos futuros, o que acaba estimulando a distribuição desigual de benefícios (GILENS; PAGE, 2014), já que os líderes são incentivados a priorizar apenas pequenas parcelas da sociedade.

2.2 Simulação Baseada em Agentes

Um sistema multiagentes geralmente tem três aspectos complementares (WOOLDRIDGE, 2009): os agentes, o ambiente e a organização. Os agentes são as unidades representativas dos indivíduos, contemplando seus modelos mentais, desejos e metas. O ambiente representa o meio no qual os agentes são imersos, incluindo regras que afetam a dinâmica de interação e a utilização de recursos. Por fim, a organização define questões relativas à estrutura e dinâmica sociais, como hierarquias, normas que devem ser seguidas e papéis sociais que podem ser assumidos pelos agentes.

A modelagem baseada em agentes passou a ser utilizada para o estudo de fenômenos

sociais desde que Thomas Schelling criou seu modelo de segregação (SCHELLING, 1971) para o estudo de dinâmicas de agrupamento e segregação social em função de aspectos raciais, ideológicos, econômicos, culturais, etc. Os avanços tecnológicos em computação e o surgimento, a partir de meados dos anos 1990, de novas ferramentas como Swarm² (MINAR, 1996), Repast³ (NORTH et al., 2013), Mason⁴ (LUKE et al., 2005) e NetLogo⁵ (WILENSKY, 1999) tornaram possível que os modelos fossem também simulados, dando origem à simulação baseada em agentes, a qual é bastante utilizada, entre tantas outras aplicações, para simulação de fenômenos sociais.

No âmbito das ciências sociais, a simulação baseada em agentes oferece uma perspectiva inovadora (e complementar aos métodos mais tradicionais de pesquisa) ao permitir que fenômenos sociais sejam simulados inúmeras vezes possibilitando a identificação de determinados padrões ou tendências que muitas vezes levariam séculos ou milênios para serem percebidos através da observação direta da sociedade. A complementaridade se dá pelo fato de que é justamente a observação direta da realidade que oferece as bases para a concepção dos modelos, de modo que quanto mais completa e precisa ela for, mais realistas serão os resultados das simulações.

Outro aspecto fundamental da simulação baseada em agentes é a possibilidade da observação de fenômenos emergentes, ou seja, fenômenos que não são perceptíveis analisando-se cada indivíduo isoladamente, mas que se tornam evidentes a partir da interação social entre tais indivíduos. Em muitos modelos, os mecanismos que regem o comportamento dos agentes em si não são tão complexos, mas os fenômenos emergentes a partir da interação de inúmeros agentes frequentemente são bastante complexos e difíceis de prever. Um exemplo clássico é o da sociedade das formigas, em que cada formiga pode ser modelada através de comportamentos bem simples como mover-se pelo ambiente até encontrar alimento, contornar obstáculos, transportar alimento de volta ao formigueiro, depositar feromônio e seguir as trilhas deixadas por outras formigas, entretanto, quando reunidas em sociedade, pode-se observar fenômenos mais complexos de organização social como coordenação e divisão de tarefas.

2.3 Confiança e Reputação

Entende-se por imagem, a princípio, a opinião (ou percepção) que um indivíduo cria sobre outro a partir da interação direta entre ambos. Tal imagem pode ser transmitida de um indivíduo para outro através da comunicação, desde que se saiba exatamente qual a fonte, ou seja, qual indivíduo é responsável pela opinião formada inicialmente. Por outro

² <http://www.swarm.org/wiki/Swarm_main_page>

³ <<https://repast.github.io/>>

⁴ <<https://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>>

⁵ <<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>

lado, a ideia de reputação (GIARDINI; CONTE; PAOLUCCI, 2013) está desvinculada da necessidade de se conhecer a fonte responsável, de modo que quem transmite uma informação relativa à reputação de um indivíduo qualquer é desprovido da obrigação de informar suas fontes ou precisamente os motivos pelos quais determinada opinião foi formada. Portanto, quem transmite informações sobre reputação o faz em nome de uma percepção geral sobre a opinião alheia, sem fonte específica, não se comprometendo com a validade do conteúdo comunicado. A possibilidade de disseminar informações sobre outros indivíduos sem comprometimento com as mesmas proporciona dois fenômenos distintos: em primeiro lugar, as pessoas tendem a trocar mais informações, visto que o custo de transmissão da reputação é muito baixo, já que não há comprometimento com a validade do conteúdo; em segundo lugar, tal descomprometimento abre espaço para a manipulação, permitindo que as pessoas inventem informações umas sobre as outras e permaneçam impunes socialmente.

Em Giardini e Conte (2012), os autores apresentam uma abordagem extremamente interessante, mostrando como a reputação pode ser entendida como um mecanismo evolutivo fundamental para as sociedades humanas, permitindo que seja mantido um certo estado de equilíbrio e controle social a um baixo custo para os indivíduos. De maneira genérica, indivíduos que apresentam comportamentos indesejáveis a uma determinada sociedade possivelmente terão reputações negativas comunicadas entre os demais, já que ao transmitirem reputações as pessoas praticamente não se expõem ao risco de retaliação. O estudo citado apresenta curiosos exemplos de sociedades ao redor do mundo em que evidencia-se o papel deste tipo de mecanismo em promover certo grau de estabilidade.

Já em Giardini et al. (2014), apresenta-se um aprofundamento do estudo a respeito do papel da reputação na organização social sob a perspectiva da simulação baseada em agentes. Para tanto, o trabalho utiliza a ideia do *Public Goods Game*, supondo um cenário em que cada indivíduo, possuindo recursos pessoais finitos, deve escolher entre tomar ou não uma ação de benefício social sem saber as decisões dos demais. Caso um indivíduo opte pelo bem-estar social, ele deve ceder parte de seus recursos (custo), caso contrário ele os mantém intactos. Ao final de cada rodada de decisões, os recursos cedidos são multiplicados por um fator de amplificação e distribuídos igualmente a todos, independentemente de suas contribuições individuais. O estudo utiliza simulação baseada em agentes para identificar o papel dos mecanismos de punição e reputação na formação de uma sociedade cooperativa. Baseado neste trabalho, Lima (2019) mostrou que a existência de múltiplos tipos de sanção, por exemplo através de multas e transmissão de reputação, pode promover o mesmo nível de cooperação no jogo, mas preservando uma maior quantidade de recursos aos agentes ao final da simulação.

São muitos os artigos que apresentam estudos envolvendo reputação e simulação baseada em agentes, além dos já citados. Dentre eles se destacam: Quattrocioni, Conte

e Lodi (2011), que avalia o processo de disseminação de informação através da mídia e da comunicação direta entre as pessoas, considerando o papel que a reputação exerce em suas percepções sobre a confiabilidade da informação recebida; Giardini et al. (2015), que propõe uma ferramenta para modelagem baseada em agentes que contempla mecanismos de reputação; Giardini, Vilone e Conte (2015), que avalia a reputação sob a perspectiva cognitiva, propondo um modelo de transmissão de reputação que considera as representações mentais dos indivíduos sobre si mesmos e o mundo ao redor, levando em conta aspectos como percepções subjetivas e nível de confiança sobre suas próprias ideias bem como percepções sobre opiniões alheias.

2.4 Redes Sociais

No contexto deste trabalho, uma rede social é uma estrutura formada por indivíduos ou entidades interconectados, representando uma sociedade, em que cada conexão significa uma potencial interação entre estes indivíduos ou entidades, ou seja, um canal para troca de informações entre eles. Tanto pessoas quanto organizações podem compor a rede, dependendo do contexto de estudo. Por exemplo, caso deseje-se modelar um cenário para estudo da influência da mídia, haverá elementos representando indivíduos e outros elementos, provavelmente com mais conexões, representando os canais midiáticos.

Para modelagem de uma rede existem duas abordagens mais comuns: aleatória ou livre de escala (BARABÁSI; BONABEAU, 2003). Uma rede aleatória consiste em uma rede cujas conexões entre os nós são definidas aleatoriamente, de modo que a maioria deles terá aproximadamente o mesmo número de conexões, obedecendo aos padrões de uma distribuição normal. Já em uma rede livre de escala, a maioria dos nós têm poucas conexões enquanto alguns outros, denominados *hubs*, acabam concentrando grandes quantidades de conexões. Alguns exemplos de redes livres de escala são: redes de interação entre proteínas; a rede formada pelas linhas de transporte aéreo, na qual certos aeroportos fazem o papel de *hubs*, concentrando grande quantidade de conexões aéreas; e as redes sociais em geral.

Alguns trabalhos utilizam a abordagem de redes para estudar sistemas de votação. Entre eles destaca-se Boldi et al. (2009), no qual é avaliada a estabilidade de uma rede de delegação transitiva através da comparação da performance em diferentes casos. A abordagem utilizada é determinística, de modo que as opções de voto são definidas por regras objetivas e simplificadas, diferentemente dos complexos processos deliberativos presentes no mundo real. O estudo também modela a presença de ruído, tornando aleatório o voto de um pequeno percentual dos eleitores e verificando que os resultados são pouco afetados pelo ruído em alguns cenários. Entretanto, a dinâmica das interações e influências sociais não são consideradas, criando um distanciamento da realidade.

Outro trabalho interessante é o de Doucette et al. (2015), o qual utiliza modelos

de redes sociais para identificar o quanto as influências entre os indivíduos interconectados pela rede podem gerar distorções da opinião social. O estudo propõe um modelo em que a opinião de certo indivíduo tem uma chance de mudar proporcional à quantidade de indivíduos a ele conectados com opiniões opostas à sua. O trabalho então apresenta um método de estimar qual seria a “opinião social” caso os indivíduos não pudessem se influenciar, comparando as estimativas aos resultados obtidos considerando a influência social. Outro ponto de destaque é que diferentes estruturas de rede social são comparadas, incluindo redes livres de escala, já que a dinâmica de influência social é fundamentalmente afetada pela conformação da rede.

2.5 Coalizões de Agentes

Coalizões são formadas quando é potencialmente mais favorável aos agentes cooperarem entre si do que agir independentemente (SHEHORY; KRAUS, 2005). A forma de distribuição de recompensas dentro de uma coalizão afeta de maneira decisiva a sua estabilidade, já que a decisão de cada membro sobre permanecer ou não na coalizão depende de quanta recompensa ele recebe. A recompensa de um membro de coalizão, em teoria, deve ser proporcional a quanto ele contribui efetivamente para o conjunto (IEONG; SHOHAM, 2005) e seu valor exato é conhecido como *Shapley Value*. Pode-se concluir, portanto, que formar uma coalizão só vale a pena coletivamente quando os ganhos produzidos pela cooperação de seus membros superarem a soma dos ganhos que potencialmente cada um produziria individualmente.

Geralmente a determinação exata do *Shapley Value* não é possível, visto que há certo grau de subjetividade em definir o quanto um membro efetivamente contribui para a sua coalizão e, da mesma forma, a satisfação ou não de um membro em relação às recompensas recebidas depende de suas próprias percepções e crenças. Portanto, caso haja um líder, ou grupo de líderes, com o poder de decidir a forma de distribuição das recompensas, a estratégia de distribuição adotada é determinante para a manutenção ou não de certa estabilidade.

O trabalho de Nardin, Rosset e Sichman (2014) apresenta um modelo interessante de coalizões baseadas em agentes, no qual os agentes são posicionados em um *grid* e devem tentar maximizar as suas recompensas. Cada agente compete diretamente com seus vizinhos através de um jogo de cooperação baseado no clássico Dilema do Prisioneiro. Além disso, os agentes observam os desempenhos uns dos outros e podem eventualmente formar coalizões ou se juntar a alguma existente. Quando um agente está insatisfeito com seus próprios ganhos e identifica um vizinho de bom desempenho, ambos podem cooperar entre si: caso o agente de bom desempenho ainda não pertença a uma coalizão, ele se torna o líder de uma nova coalizão formada com seu vizinho, caso contrário, o agente insatisfeito

apenas se junta à coalizão já existente. Da mesma forma, um agente que pertença a uma coalizão e esteja insatisfeito com suas recompensas pode optar por abandoná-la. O papel de um líder é coletar os ganhos de todos os membros de sua coalizão e redistribuí-los igualmente após cobrar uma taxa pelo desempenho da função.

A partir da revisão sistemática da literatura, foram identificados poucos estudos que utilizam coalizões e simulação baseada em agentes nos contextos de organização política, dinâmica de partidos, eleições de representantes, investimentos públicos ou desigualdade social. O trabalho de [Muis \(2010\)](#) utiliza simulação baseada em agentes para simular um modelo que envolve disputas entre partidos políticos e os resultados obtidos são validados usando dados de disputas partidárias na Holanda. Já o trabalho de [Valkering et al. \(2009\)](#) se propõe a estudar as transformações culturais e comportamentais da sociedade no contexto da gestão de recursos hídricos e, para tanto, coloca à prova um modelo baseado em agentes envolvendo formação de coalizões em que cada uma representa determinados interesses e posições em relação a políticas públicas.

Um trabalho bem interessante que utiliza coalizões e simulação baseada em agentes no contexto da dinâmica de partidos é o de [Schreiber \(2014\)](#). No modelo proposto, cada agente tem a sua própria posição política bem definida. Durante uma simulação, os agentes são colocados para interagir entre si buscando formar coalizões com aqueles de posições políticas mais próximas. Um membro de coalizão permanece satisfeito enquanto a posição política de sua coalizão como um todo estiver suficientemente próxima da sua posição individual, de acordo com certo limiar. Como, a princípio, a posição política de uma coalizão reflete a média das posições políticas dos seus membros, a entrada de novos membros pode provocar a saída de outros que eventualmente fiquem insatisfeitos. Por outro lado, uma coalizão pode estrategicamente revisar sua própria posição política na tentativa de atrair novos membros, mas sob o risco de descontentar alguns dos seus próprios membros. A simulação termina quando uma das coalizões consegue maioria em relação à população inteira. Os resultados mostram que através de um modelo com regras relativamente simples pode-se obter um comportamento similar àqueles previstos nos modelos clássicos de dinâmica de partidos.

3 Modelo

Este capítulo tem como foco apresentar detalhadamente o modelo desenvolvido neste trabalho.

3.1 Visão Geral

A partir de técnicas de simulação baseada em agentes (SICHMAN, 2015), foi desenvolvido e simulado um modelo (LUDESCHER; SICHMAN, 2019b) no qual agentes, representando indivíduos em uma sociedade, são interconectados por uma rede. Todos os agentes começam com uma mesma quantidade inicial de recursos. Tal quantia pode ser usada de duas formas: para contribuições compulsórias ao bem público e, se for o caso, para contribuir a uma coalizão, apoiando seu respectivo líder. A cada rodada da simulação, qualquer agente pode se propor a ser líder de coalizão, então os agentes interagem para formar as coalizões de apoio aos líderes emergentes e uma coalizão vencedora é por fim definida. Uma vez definida a coalizão vencedora da rodada, seu líder tem o papel de recolher as contribuições compulsórias, multiplicar o valor arrecadado por um fator de ganho e decidir como distribuir os recursos à população. Ao final de uma rodada, o desempenho do líder da coalizão vencedora é avaliado pela população e cada indivíduo, com base em sua própria avaliação, então decide se continua em sua coalizão, caso seja membro de uma, ou se busca uma nova coalizão, caso não pertença a nenhuma.

3.2 Cenário

Os agentes são interconectados através de uma rede livre de escala (BARABÁSI; BONABEAU, 2003), já apresentada na seção 2.4. O método escolhido neste trabalho para a formação da rede livre de escala segue um modelo amplamente conhecido, o modelo Barabási-Albert (ALBERT; BARABÁSI, 2002). Conforme detalhado no Pseudo-algoritmo 1, o método funciona da seguinte maneira: dada uma configuração inicial em que, por exemplo, haja três nós conectados entre si, a cada novo nó adicionado, a probabilidade deste se conectar a um nó já existente é proporcional à quantidade de conexões que o nó já existente possui. Ou seja, nós com muitas conexões tendem a receber ainda mais conexões, formando os chamados *hubs*. A Figura 1 ilustra agentes interconectados por uma rede livre de escala. A escolha deste tipo de rede para conectar os agentes no modelo proposto se deve ao fato de ela ter uma estrutura parecida à de redes sociais reais.

Algorithm 1 Formação da Rede Livre de Escala

Require: Número de agentes (n)

```

1: totalNetworkConnections = 0                                ▷ número de conexões criadas
2: i = 0                                                        ▷ número de agentes criados
3: while i < 3 do
4:   CreateNewAgent()
5:   i++
6:   for all other agents do
7:     ConnectToNewAgent()
8:     totalNetworkConnections = totalNetworkConnections + 2  ▷ cada conexão é
        bidirecional, o que equivale a 2 conexões unidirecionais
9:   end for
10: end while
11: while i < n do
12:   CreateNewAgent()
13:   i++
14:   for all other agents do
15:     agentConnections = GetNumberOfConnections()
16:     connectionProbability = agentConnections ÷ totalNetworkConnections
17:     randomNumber = Random(from 0 to 100)
18:     if connectionProbability > randomNumber then
19:       ConnectToNewAgent()
20:       totalNetworkConnections = totalNetworkConnections + 2 ▷ cada conexão é
        bidirecional, o que equivale a 2 conexões unidirecionais
21:     end if
22:   end for
23: end while

```

3.3 Fator de Ganho

Da mesma forma que o *Public Goods Game*, o modelo utiliza um fator de ganho (maior do que 1) para multiplicar o total arrecadado através de contribuições compulsórias. Neste caso, o fator de ganho representa a capacidade de um líder de administrar o bem público e maximizar os benefícios produzidos pela cooperação social. Portanto, deve-se considerar que diferentes indivíduos possuem diferentes aptidões para o exercício desta função. Para levar em conta tais diferenças no modelo, foram atribuídos diferentes fatores de ganho aos indivíduos, obedecendo a uma distribuição normal.

3.4 Estratégias de Líderes

Conforme apresentado na seção 3.1, um líder cuja coalizão foi escolhida vencedora de uma rodada é responsável por recolher contribuições compulsórias, multiplicar o valor arrecadado por seu fator de ganho e decidir como distribuir os recursos à população. Com relação à distribuição de recursos, cada líder deve optar por uma estratégia, que define

Figura 1 – Rede livre de escala (80 agentes).

Fonte: Autor.

quanto deste valor ele está disposto a oferecer à sua própria coalizão. A quantidade de recursos que um líder oferece aos seus próprios apoiadores é calculada a partir de um fator de recompensa associado à estratégia adotada. O modelo possibilita a adoção de três estratégias distintas: *egoísta*, *altruísta* e *intermediária*. Um líder egoísta prioriza a sua própria coalizão, oferecendo aos seus membros uma parcela maior do total de recursos, o que significa um fator de recompensa maior. Já um líder altruísta distribui recursos de maneira mais homogênea, oferecendo aos seus apoiadores uma fatia menor de recursos, calculada utilizando-se um fator de recompensa menor. Por fim, o líder intermediário segue uma estratégia intermediária em relação às duas anteriores.

3.5 Perfis de Perseverança

O perfil de perseverança de um indivíduo pode ser entendido como sua expectativa em relação aos recursos a serem recebidos e sua tolerância à espera de melhores recursos. A expectativa determina o grau de satisfação de um indivíduo com os recursos recebidos e

é definida como o valor de retorno mínimo esperado a partir de suas contribuições, sejam as compulsórias ou aquelas feitas a uma coalizão, caso o indivíduo pertença a alguma. Já o grau de tolerância indica quanto um indivíduo que decide contribuir para uma coalizão está disposto a esperar, em número de rodadas, até receber uma quantidade maior de recursos; afinal, podem existir várias coalizões e a cada rodada só uma delas pode vencer a disputa e, portanto, os membros de coalizões muitas vezes precisam aguardar algumas rodadas até eventualmente serem recompensados por suas contribuições. O modelo inclui três perfis de indivíduos: *paciente*, *impaciente* e *intermediário*. Um indivíduo impaciente busca maiores quantidades de recursos e não está disposto a esperar muito por eles. Já um indivíduo paciente fica satisfeito mais facilmente com menores quantidades de recursos e tolera por mais tempo participar de uma coalizão sem obter retorno. Por fim, o indivíduo intermediário possui expectativa e tolerância intermediárias em relação aos dois anteriores.

3.6 Confiança

No modelo criado, inicialmente os indivíduos não conhecem uns aos outros, mesmo aqueles que estejam conectados entre si. Portanto, nenhum deles tem qualquer referência para saber em quem confiar. No decorrer da simulação, conforme os agentes observam as ações uns dos outros, o grau de confiança que um tem no outro vai sendo atualizado. Ou seja, se um indivíduo entra para uma nova coalizão cujo líder ele não conhece, sua confiança em tal líder é inicializada para um valor padrão. À medida que o desempenho de um líder vai sendo avaliado a partir de suas ações e dos resultados por ele produzidos, o valor da confiança de um indivíduo em seu líder é atualizado. Em outras palavras, se um indivíduo fica satisfeito com seu líder, sua confiança nele aumenta e, opostamente, caso fique insatisfeito, a confiança diminui. O quão rapidamente a confiança de um indivíduo em um líder aumenta ou diminui depende também do perfil de perseverança do indivíduo, já que tal perfil influencia os graus de satisfação e tolerância, conforme explicado na seção 3.5. A confiança define também a permanência ou não de um indivíduo em uma coalizão, de modo que se o grau de confiança que ele tem em seu líder for inferior a determinado limiar, ele sai da coalizão. Além disso, cada indivíduo memoriza o grau de confiança que tem naqueles que já foram seus líderes, o que significa que um indivíduo não volta para uma coalizão em cujo líder ele não mais confia.

3.7 Ciclos da Simulação

Uma simulação é composta por diversos ciclos (rodadas) e, por sua vez, cada ciclo é composto por cinco etapas, conforme ilustrado na Figura 2 e indicado no Pseudo-algoritmo 2. As subseções a seguir detalham cada uma dessas etapas.

Figura 2 – Etapas da simulação.

Fonte: Autor.

Algorithm 2 Etapas da Simulação**Require:** Parâmetros da simulação

- 1: **while** end of simulation is not reached **do**
- 2: Formação de coalizões
- 3: Contribuições dos agentes
- 4: Definição da coalizão vencedora
- 5: Administração do líder da coalizão vencedora
- 6: Avaliação dos recursos recebidos
- 7: **end while**

3.7.1 Formação de Coalizões

Inicialmente, cada indivíduo deve decidir se pretende ser líder de uma coalizão. Tal decisão depende de certa probabilidade parametrizada. Em seguida, de acordo com outra probabilidade, os indivíduos decidem se pretendem ou não participar de uma coalizão. Aqueles que decidirem participar de uma coalizão então identificam entre seus vizinhos, i.e., outros indivíduos conectados diretamente pela rede, aqueles que já pertencem a alguma coalizão ou que têm a intenção de se tornar líderes de coalizão. Caso exista alguma opção, o indivíduo então verifica se há líderes, ou candidatos a líder, nos quais ele não confia mais¹ e então descarta tais opções. Por fim, caso haja opções restantes, o indivíduo então escolhe aleatoriamente uma delas, entrando para uma coalizão ou formando uma nova².

¹ Por exemplo, por tê-los tido como líderes anteriormente.

² Indivíduos que não pretenderem participar de coalizões ou que não tiverem opção de participar de uma permanecem desvinculados de coalizões (independentes).

Ao entrar para uma nova coalizão, sua confiança no líder correspondente é inicializada a um valor padrão, conforme explicado na seção 3.6. O Pseudo-algoritmo 3 detalha cada passo desta etapa.

Algorithm 3 Formação de Coalizões

Require: Probabilidade de querer ser líder (probLeader), probabilidade de querer participar de uma coalizão (probCoalition)

```

1: for all individuals do
2:   ApplyForLeadershipOrNot(probLeader)
3: end for
4: for all individuals do
5:   if InterestedInJoiningACoalition(probCoalition) then
6:     listOfNeighbors =  $\emptyset$     ▷ lista de vizinhos que pertencem a uma coalizão ou
     pretendem ser líderes
7:     for all neighbors do
8:       if BelongsToACoalition() or WantsToBeALeader() then
9:         if Trust(neighbor) then
10:          listOfNeighbors.Add(neighbor)
11:        end if
12:      end if
13:    end for
14:    neighbor = RandomlyPicksOne(listOfNeighbors)
15:    JoinOrFormACoalitionWith(neighbor)
16:  end if
17: end for
  
```

3.7.2 Contribuições dos Agentes

Nesta etapa, os agentes devem oferecer suas contribuições, tanto as compulsórias, destinadas ao bem público, quanto aquelas que indivíduos pertencentes a uma coalizão desejam realizar. Por simplificação, o modelo adota um valor fixo parametrizado que é cobrado igualmente de cada indivíduo em todas as rodadas.

Conforme indicado no Pseudo-algoritmo 4, um indivíduo que pertença a uma coalizão ainda deve decidir a quantia de recursos com a qual está disposto a contribuir para apoiar o líder de sua coalizão naquela rodada específica. O valor da contribuição é calculado a partir de qual percentual de seus recursos disponíveis o indivíduo está disposto a oferecer à coalizão. Tal percentual pode aumentar ou diminuir conforme, respectivamente, o indivíduo fica satisfeito ou não com a atuação de seu líder, o que é mostrado em maiores detalhes na subseção 3.7.5. Entende-se também que haja um percentual máximo que cada indivíduo estaria disposto a oferecer dos seus próprios recursos³. Por simplificação, foi definido no modelo um valor percentual máximo padrão para todos os indivíduos.

³ Um indivíduo provavelmente não estará disposto a contribuir, por exemplo, com 100% dos seus recursos.

Algorithm 4 Contribuições dos Agentes

Require: Percentual de recursos a contribuir (%resources), contribuição compulsória (individualTax)**Output:** Total de contribuições compulsórias arrecadadas (taxCollected)

```

1: taxCollected = 0
2: for all agents do
3:   ContributeToPublicGood(individualTax)
4:   taxCollected = taxCollected + individualTax
5: end for
6: for all coalition members do
7:   contribution = Minimum(%resources, %max) × availableResources    ▷ %max
   corresponde ao valor percentual máximo de recursos que um indivíduo pode oferecer
   como contribuição
8:   ContributeToCoalition(contribution)
9: end for

```

3.7.3 Definição da Coalizão Vencedora

Conforme apresentado no Pseudo-algoritmo 5, o montante de recursos que uma coalizão recebe em relação às demais define a probabilidade de sucesso da mesma em dada rodada. Em casos reais, apesar de haver uma série de outros fatores que influenciam a chance de sucesso de uma campanha eleitoral, pode-se afirmar que a quantidade de recursos de que uma campanha dispõe afeta de maneira decisiva a sua capacidade de projeção na população e, conseqüentemente, as suas chances de vitória. Portanto, para os fins deste modelo é bastante razoável simplificar a probabilidade de vitória de cada coalizão como sendo resultado do cálculo da razão do valor dos recursos obtidos pela coalizão dividido pelo valor agregado dos recursos obtidos pelo conjunto de todas as coalizões. Portanto, com base nas probabilidades de sucesso de cada coalizão, uma delas é escolhida como vencedora e seu líder torna-se o responsável pela distribuição dos recursos na rodada.

Algorithm 5 Definição da Coalizão Vencedora

Require: Total de recursos de todas as coalizões (totalResources)

```

1: drawnNumber = Random(from 0 to totalResources)
2: partialValue = 0
3: for all coalitions do
4:   partialValue = partialValue + coalitionResources
5:   if partialValue > drawnNumber then
6:     winningCoalition = coalition
7:     StopLoop()
8:   end if
9: end for

```

3.7.4 Administração do Líder da Coalizão Vencedora

Conforme detalhado no Pseudo-algoritmo 6, primeiramente o líder da coalizão vencedora multiplica o valor arrecadado em contribuições compulsórias pelo seu fator de ganho específico (vide seção 3.3) e, por fim, distribui o montante final à população. Como já abordado na seção 3.4, a forma de distribuição dos benefícios é definida pela estratégia de cada líder. Portanto, de acordo com a estratégia adotada, o líder determina qual parcela do valor final será oferecida à sua própria coalizão e então distribui os recursos a seus membros. Como os membros de uma coalizão podem contribuir com quantias diferentes, os recursos que um líder destina aos seus próprios apoiadores não são distribuídos igualmente mas sim proporcionalmente às contribuições de cada um. Já a parcela restante do montante final é distribuída igualmente entre os demais membros da população, sejam eles vinculados a outras coalizões ou não.

Algorithm 6 Administração do Líder da Coalizão Vencedora

Require: Total de contribuições compulsórias arrecadadas (taxCollected)

```

1: for leader of the winning coalition do
2:   totalReward = gainFactor × taxCollected
3:   winningCoalitionReward = rewardFactor × totalReward ▷ o fator de recompensa
   depende da estratégia do líder
4:   othersReward = totalReward - winningCoalitionReward
5:   for all winning coalition members do
6:     memberReward = memberContribution ÷ winningCoalitionResources × win-
       ningCoalitionReward
7:     Send(memberReward)
8:   end for
9:   n = population - winningCoalitionMembers ▷ n é o número de outros indivíduos
10:  for all other individuals do
11:    reward = othersReward ÷ n
12:    Send(reward)
13:  end for
14: end for
  
```

3.7.5 Avaliação dos Recursos Recebidos

Conforme o Pseudo-algoritmo 7 mostra, nesta etapa os indivíduos avaliam os recursos recebidos. A avaliação de cada indivíduo depende de um limiar de satisfação indicado pelo seu perfil de perseverança. Como já detalhado na seção 3.5, indivíduos pacientes ficam satisfeitos mais facilmente, ou seja, possuem um limiar de satisfação menor do que indivíduos impacientes. Além disso, como indivíduos impacientes esperam retornos mais rápidos das suas contribuições a coalizões, eles tendem a perder a confiança em seus líderes mais facilmente caso os resultados demorem a aparecer. A avaliação dos recursos recebidos é feita de maneira diferente por indivíduos pertencentes a três categorias distintas:

- *membros da coalizão vencedora*: estes calculam o retorno de suas contribuições dividindo o valor dos recursos recebidos pelo valor acumulado das contribuições à coalizão. Tal valor acumulado corresponde à soma das contribuições feitas na própria rodada e em rodadas anteriores em que sua coalizão não foi bem-sucedida. O cálculo é feito desta forma porque, por um lado, um indivíduo não pode esperar que sua coalizão seja sempre a vencedora em toda rodada e, por outro lado, contribuições feitas em rodadas anteriores nas quais a coalizão não obteve sucesso não podem ser desprezadas para o cálculo do retorno, já que um indivíduo que contribui a uma coalizão espera que os recursos recebidos compensem as contribuições feitas ao longo de um período. Caso o retorno obtido seja superior a determinado limiar de satisfação, definido pelo perfil de perseverança, a confiança do indivíduo em seu líder é incrementada, caso contrário, ela diminui drasticamente, afinal, se um líder não consegue oferecer uma quantidade de recursos satisfatória, isso significa que provavelmente não vale a pena para o indivíduo continuar apostando em tal líder. Por fim, caso o nível de confiança de um indivíduo em seu líder for inferior a determinado limiar parametrizado, ele sai da coalizão;
- *membros das demais coalizões*: estes já não podem comparar os recursos recebidos com as contribuições feitas para suas respectivas coalizões, já que tal comparação só faz sentido nas rodadas em que a coalizão à qual pertence um indivíduo é a vitoriosa e seu líder correspondente pode então oferecer maiores quantidades de recursos aos seus apoiadores. Por outro lado, um membro de coalizão não está disposto a esperar indefinidamente até que a sua coalizão seja vencedora em alguma rodada, o que pode nem acontecer e, portanto, a cada rodada de insucesso os membros das coalizões não vencedoras diminuem sua confiança em seus líderes em um valor dependente de cada perfil de perseverança: indivíduos impacientes diminuem mais rapidamente a confiança em seus líderes do que os pacientes. Por fim, caso o nível de confiança de um membro de coalizão em seu líder for inferior a determinado limiar parametrizado, ele deixa a coalizão;
- *indivíduos independentes*: estes somente avaliam os recursos recebidos. Como a única despesa que tais indivíduos tiveram na rodada foi o pagamento de contribuições compulsórias, seus retornos são calculados dividindo-se o valor dos recursos recebidos pelo valor contribuído. Caso o retorno obtido seja superior a determinado limiar de satisfação, definido pelo perfil de perseverança, a probabilidade de o indivíduo se interessar por participar de uma coalizão na rodada seguinte diminui, caso contrário, ela aumenta. Isso ocorre porque o risco de investir em uma coalizão é mais justificável para um indivíduo que não esteja satisfeito com a atuação do líder de uma coalizão vencedora do que para um que esteja.

Algorithm 7 Avaliação dos Recursos Recebidos

Require: Limiar de satisfação (threshold), limiar de confiança (trustThreshold)

Output: Percentual de recursos a contribuir (%resources), probabilidade de querer participar de uma coalizão (probCoalition)

```

1: for all individuals do
2:   if member of the winning coalition then
3:     if resourcesReceived  $\div$  accumulatedContributions > threshold then
4:       IncreaseTrustInLeader(profile)
5:       %resources = IncreaseContributionToCoalition()
6:     else
7:       DecreaseTrustInLeader(profile)
8:       %resources = DecreaseContributionToCoalition()
9:     end if
10:    if trustInLeader < trustThreshold then
11:      LeaveCoalition()
12:    end if
13:  else if member of another coalition then
14:    DecreaseTrustInLeader(profile)
15:    if trustInLeader < trustThreshold then
16:      LeaveCoalition()
17:    end if
18:  else if independent individual then
19:    if resourcesReceived  $\div$  taxPaid > threshold then
20:      probCoalition = DecreaseProbCoalition(profile)
21:    else
22:      probCoalition = IncreaseProbCoalition(profile)
23:    end if
24:  end if
25: end for

```

4 Experimentos e Análise

Este capítulo tem por objetivo apresentar os experimentos realizados bem como a análise dos resultados do trabalho.

4.1 Implementação

A ferramenta de modelagem e simulação baseada em agentes Repast¹ Symphony (NORTH et al., 2013) foi a plataforma escolhida para o desenvolvimento do modelo. Sua escolha deveu-se ao fato de se tratar de uma plataforma aberta, leve em relação à utilização de recursos computacionais, que permite o uso de diversas linguagens de programação, possui ampla documentação, permite a integração com ferramentas externas de análise de dados, foi projetada especificamente para a simulação de modelos baseados em agentes e tem as ciências sociais como principal domínio de utilização (WIKIMEDIA, 2019b).

O modelo foi implementado utilizando-se principalmente a linguagem de programação ReLogo (OZIK et al., 2013), a qual se baseia na linguagem dinâmica Groovy e foi criada especificamente para a plataforma Repast Symphony. A linguagem de programação Java também foi utilizada em alguns pontos específicos do código. Os dados gerados pelas simulações foram analisados através da linguagem de programação R, primeiro por se tratar de uma linguagem própria para análises estatísticas mas também porque a plataforma Repast Symphony permite a integração com o ambiente de desenvolvimento RStudio².

4.2 Cenários

Para a realização dos experimentos foram definidas 16 configurações experimentais distintas, indicadas na Tabela 1, sendo que 30 experimentos foram realizados para cada uma das configurações, totalizando 480 experimentos. Cada experimento envolveu 1000 agentes e consistiu na execução de 1000 ciclos da simulação. Cada agente recebeu 1000 de recursos no início de cada experimento e teve que pagar 1 de contribuição compulsória a cada ciclo da simulação. A Tabela 2 apresenta os parâmetros gerais utilizados.

Os cenários experimentais foram definidos com o objetivo de permitir a avaliação do impacto dos diferentes perfis de líderes e perseverança na dinâmica do sistema. Para tanto, cada uma das 16 configurações distintas de experimentos é resultado das combinações de diferentes perfis de líder, cada qual associado a uma estratégia de líder específica, com diferentes perfis de perseverança dos indivíduos. Para os perfis de líder foram consideradas

¹ <<https://repast.github.io/>>

² <<https://www.rstudio.com/>>

4 configurações distintas: uma apenas com líderes altruístas, outra apenas com líderes intermediários, uma terceira apenas com líderes egoístas e a última, denominada “combinado”, misturando os três perfis de líder em igual proporção. Analogamente, para os perfis de perseverança também foram consideradas 4 configurações distintas: uma apenas com indivíduos pacientes, outra apenas com indivíduos intermediários, uma terceira apenas com indivíduos impacientes e a última, denominada “combinado”, misturando os três perfis de perseverança em igual proporção. Como resultado da combinação das 4 configurações de perfis de líderes com as 4 de perfis de perseverança, definem-se então as 16 configurações experimentais apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Configurações Experimentais

Configuração	Perfil de Líder	Perfil de Perseverança
#1	Altruísta	Paciente
#2	Altruísta	Intermediário
#3	Altruísta	Impaciente
#4	Altruísta	Combinado
#5	Intermediário	Paciente
#6	Intermediário	Intermediário
#7	Intermediário	Impaciente
#8	Intermediário	Combinado
#9	Egoísta	Paciente
#10	Egoísta	Intermediário
#11	Egoísta	Impaciente
#12	Egoísta	Combinado
#13	Combinado	Paciente
#14	Combinado	Intermediário
#15	Combinado	Impaciente
#16	Combinado	Combinado

Fonte: Autor.

Tabela 2 – Parâmetros Gerais

Número de rodadas por experimento	1000
Número de indivíduos por experimento	1000
Recursos iniciais por indivíduo	1000
Contribuição compulsória individual por rodada	1
Número de experimentos para cada configuração	30

Fonte: Autor.

4.3 Resultados

Os resultados preliminares deste trabalho foram apresentados em [Ludescher e Sichman \(2019a\)](#). Já os resultados finais, correspondentes aos resultados mostrados nesta

seção, foram também apresentados em [Ludescher e Sichman \(2019b\)](#)³.

Os resultados foram analisados sob duas perspectivas distintas: *temporal* e *distributiva*. Para a análise temporal, foram coletados dados ao longo das simulações (ao final de cada ciclo) relativos ao número de coalizões, ao número total de membros de coalizões, ao valor das contribuições às coalizões, ao montante de recursos distribuídos e à quantidade total de recursos disponíveis. Já para a análise de distribuição, foram coletados dados ao final de cada simulação relativos à quantidade de recursos disponíveis para cada indivíduo e ao número de membros existentes em cada coalizão. Tais análises são detalhadas nas subseções a seguir. As tabelas apresentadas indicam as médias e os desvios-padrão das variáveis para cada configuração experimental. Os resultados relativos a cada variável são apresentados de acordo com a estrutura ilustrada na Tabela 3, na qual cada célula corresponde a uma configuração experimental específica. Os gráficos, por sua vez, apresentam a evolução temporal das variáveis ou suas distribuições, dependendo da análise em questão. Para facilitar a visualização, não foram colocadas em cada gráfico as linhas correspondentes às 16 configurações experimentais. Ao invés disso, a opção escolhida foi apresentar em cada gráfico a comparação entre no máximo 4 configurações por vez das seguintes formas: fixando uma das 4 configurações de perfis de líder e apresentando um comparativo entre as 4 configurações de perfis de perseverança ou, opostamente, fixando uma das 4 configurações de perfis de perseverança e apresentando um comparativo entre as 4 configurações de perfis de líder.

Tabela 3 – Modelo de Tabela de Resultados

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	#1	#5	#9	#13
<i>Intermed.</i>	#2	#6	#10	#14
<i>Impaciente</i>	#3	#7	#11	#15
<i>Combinado</i>	#4	#8	#12	#16

Fonte: Autor.

4.3.1 Análise Estatística

Foram realizados testes estatísticos com o objetivo de verificar se as diferenças entre os resultados obtidos para configurações experimentais distintas são significativas. Para a escolha de um teste estatístico adequado, é necessário primeiro entender a natureza dos dados. Conforme indicado na seção 4.1, foram coletadas 30 amostras independentes

³ Os valores dos desvios-padrão podem diferir um pouco devido à diferença no método de cálculo: em [Ludescher e Sichman \(2019b\)](#) os desvios-padrão foram calculados considerando-se individualmente os valores em cada ciclo da simulação; já nesta seção os desvios-padrão apresentados, para que ficassem coerentes com a análise estatística descrita na subseção 4.3.1, foram calculados a partir das médias obtidas para cada experimento.

para cada uma das 16 configurações experimentais (ou populações). É razoável assumir que as variáveis medidas assumam valores que obedecem a distribuições normais, dado que as amostras correspondentes a cada configuração, além de independentes, foram obtidas a partir de condições iniciais idênticas. Também é importante determinar se, para cada variável medida, as variâncias obtidas em diferentes configurações experimentais são iguais ou não. Para isso foi utilizado o teste de Bartlett ([WIKIMEDIA, 2019a](#)), cuja hipótese nula é a de que as variâncias obtidas nas amostras de diferentes populações são iguais. Definiu-se que a hipótese nula seria confirmada caso a probabilidade de significância calculada fosse superior a 5% ($\text{valor-}p > 0,05$), o que é um limiar utilizado convencionalmente em testes estatísticos. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para cada variável medida, indicando que as variâncias das populações são diferentes para todas as variáveis medidas.

Dada a constatação de que as variâncias das amostras são diferentes entre configurações experimentais distintas e assumindo uma distribuição normal das variáveis, um teste estatístico adequado é o teste t de Welch ([WIKIMEDIA, 2019f](#)), o qual é utilizado para avaliar se as médias obtidas para duas diferentes populações ou, neste caso, configurações experimentais são iguais (hipótese nula). Seguindo a mesma convenção adotada para o teste de Bartlett, a hipótese nula é confirmada, ou seja, as médias são consideradas iguais caso a probabilidade de significância calculada seja superior a 5% ($\text{valor-}p > 0,05$). Em caso contrário, as diferenças entre as médias podem ser consideradas estatisticamente significativas. O apêndice A mostra os resultados do teste t de Welch para cada uma das variáveis medidas. Dado que tal tipo de teste permite a comparação de apenas duas médias por vez, os comparativos foram feitos da seguinte forma: para cada um dos 4 perfis de líder, foram comparadas, duas a duas, as médias correspondentes aos 4 perfis de perseverança; analogamente, para cada um dos 4 perfis de perseverança, foram comparadas, duas a duas, as médias correspondentes aos 4 perfis de líder. Em outras palavras, dada a estrutura de resultados apresentada na Tabela 3, os resultados de cada coluna foram comparados dois a dois e, da mesma forma, os resultados de cada linha foram comparados dois a dois. Portanto, para cada variável medida houve 48 comparativos de resultados, uma vez que 4 resultados comparados dois a dois implicam em 6 comparações para cada coluna e linha da tabela ($6 \text{ comparativos} \times [4 \text{ colunas} + 4 \text{ linhas}] = 48 \text{ comparativos}$).

De maneira geral, os resultados obtidos com o teste t de Welch indicam que a grande maioria das médias são significativamente diferentes. A maior parte dos casos em que não há diferença significativa envolvem configurações que misturam os três perfis de líder ou de perseverança (“combinado”), o que faz sentido dado que os resultados correspondentes a tais configurações tendem a estar em algum ponto intermediário entre os resultados observados nas configurações com perfis isolados. A tabela 5 mostra o sumário dos resultados do teste t de Welch apresentados no apêndice A para cada variável medida. Nela pode-se observar que 67,5% das comparações feitas resultaram em diferenças significativas. Além disso, o percentual de médias consideradas iguais cai de 32,5% para

13,3% se desconsiderados os casos que envolvem perfis “combinados”, ou seja, 86,7% das médias são significativamente diferentes neste caso. Apenas a variável “total de recursos distribuídos” apresenta mais casos de médias iguais do que diferentes (56,3%), mas para este caso em específico não foram identificadas correlações entre os resultados e as configurações experimentais, conforme detalhado na subseção 4.3.4.

Tabela 4 – Teste de Bartlett

Variável	Valor- <i>p</i>	Variâncias Iguais
Número de Coalizões	1,97E-110	X
Número de Membros de Coalizões	7,75E-99	X
Quantidade de Contribuições	1,64E-13	X
Total de Recursos Distribuídos	7,16E-3	X
Recursos Disponíveis	6,17E-5	X

Fonte: Autor.

Tabela 5 – Teste *t* de Welch - Sumário

Variável	Número de Comparações	Médias Diferentes	Médias Iguais	Médias Iguais (- combinados)
Número de Coalizões	48	42 (87,5%)	6 (12,5%)	0 (0%)
Número de Membros de Coalizões	48	44 (91,7%)	4 (8,3%)	1 (2,1%)
Quantidade de Contribuições	48	27 (56,3%)	21 (43,8%)	9 (18,8%)
Total de Recursos Distribuídos	48	21 (43,8%)	27 (56,3%)	10 (20,8%)
Recursos Disponíveis	48	28 (58,3%)	20 (41,7%)	12 (25%)
Totais	240	162 (67,5%)	78 (32,5%)	32 (13,3%)

Fonte: Autor.

4.3.2 Número de Coalizões e Seus Membros

No que se refere ao número médio de coalizões formadas durante as simulações, pode-se identificar um padrão evidente comparando-se todas as configurações experimentais. Conforme apresentado na Tabela 6, o número de coalizões aumenta na presença de líderes altruístas em relação a egoístas e também aumenta na presença de indivíduos pacientes em relação a impacientes. A Figura 3 ilustra a evolução do número de coalizões para cada perfil de líder, fixado um perfil de perseverança. Nela pode-se notar como o número de coalizões permanece maior ao longo das simulações com líderes altruístas (linha azul). Já

a Figura 4 ilustra a evolução do número de coalizões para cada perfil de perseverança, fixado um perfil de líder. A partir dela observa-se que na presença de indivíduos pacientes (linha azul) o número de coalizões permanece maior ao longo das simulações.

Tabela 6 – Número de Coalizões

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	26,9 ± 3,6	15,4 ± 2,6	12,4 ± 0,8	13,5 ± 1,7
<i>Intermed.</i>	22,4 ± 4,8	13,0 ± 1,4	11,4 ± 0,9	11,7 ± 1,0
<i>Impaciente</i>	16,5 ± 3,7	9,7 ± 0,4	9,4 ± 0,4	9,7 ± 0,4
<i>Combinado</i>	24,3 ± 4,8	13,7 ± 1,0	12,6 ± 0,6	12,9 ± 1,0

Fonte: Autor.

Figura 3 – Número de Coalizões (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

Para compreender plenamente tais resultados é preciso antes verificar o número médio de indivíduos vinculados a coalizões para cada configuração experimental, o que é mostrado na Tabela 7. Opostamente ao verificado com o número de coalizões, o número médio de membros de coalizões é menor na presença de líderes altruístas e maior com líderes egoístas, o que é ilustrado na Figura 5. Já com relação aos perfis de perseverança, identifica-se um padrão semelhante ao do número de coalizões: com indivíduos pacientes o número de membros de coalizões é maior em comparação a cenários com indivíduos impacientes, assim como apresentado na Figura 6.

Figura 4 – Número de Coalizões (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

Dados os resultados sobre o número de coalizões formadas e o número de membros que as compõem, pode-se concluir que, por um lado, líderes que seguem a estratégia altruísta não retêm os membros de suas coalizões, já que as quantidades de recursos a eles oferecidas são menores, tornando improvável que alguma coalizão cresça atraindo novos membros, o que explica o número menor de membros de coalizões. Além do mais, como coalizões lideradas por altruístas não são atrativas, aqueles indivíduos interessados em participar de coalizões não se fixam a nenhuma delas e estão constantemente formando novas na tentativa de encontrarem alguma que ofereça maior retorno de recursos, o que explica o número maior de coalizões formadas. Além disso, quanto mais coalizões forem formadas menor a chance que cada uma tem de vencer uma rodada, tornando-as ainda menos atrativas. Opostamente, líderes que seguem a estratégia egoísta conseguem oferecer maior retorno de recursos, retendo os membros de suas coalizões e atraindo novos. Tal fato eleva o número total de membros de coalizões mas diminui o número de coalizões, já que coalizões grandes têm mais chance de vitória e, portanto, de recompensar seus membros. Assim, gera-se uma tendência de concentração de indivíduos em algumas poucas coalizões.

Por outro lado, indivíduos impacientes estão sempre esperando retornos rápidos de suas contribuições e dificilmente ficam satisfeitos com os recursos recebidos. Isso provoca dois efeitos: em primeiro lugar, o número de coalizões permanece baixo, pois a existência de várias coalizões diminuiria a probabilidade de vitória de cada uma delas, fazendo com que nenhuma fosse capaz de recompensar seus membros de acordo com suas elevadas expectativas, ocasionando uma rápida evasão dos mesmos; em segundo lugar, o número

de membros de coalizões também permanece baixo, pois uma eventual concentração de membros em alguma coalizão implicaria em menos recursos oferecidos individualmente, aumentando a insatisfação, e portanto coalizões formadas por indivíduos egoístas não têm espaço para muitos membros, permanecendo pequenas.

Tabela 7 – Número de Membros de Coalizões

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	200 $\pm$ 51	447 $\pm$ 20	474 $\pm$ 8	463 $\pm$ 10
<i>Intermed.</i>	239 $\pm$ 55	376 $\pm$ 13	396 $\pm$ 12	383 $\pm$ 12
<i>Impaciente</i>	153 $\pm$ 23	189 $\pm$ 12	189 $\pm$ 14	185 $\pm$ 14
<i>Combinado</i>	195 $\pm$ 51	345 $\pm$ 6	356 $\pm$ 6	349 $\pm$ 6

Fonte: Autor.

Figura 5 – Número de Membros de Coalizões (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

Adicionalmente, é interessante avaliar também o número médio de membros por coalizão. Dividindo-se os valores apresentados na Tabela 7 pelos valores da Tabela 6, respectivamente de acordo com as configurações experimentais correspondentes, obtém-se os resultados indicados na Tabela 8. Tais resultados reforçam as análises anteriores, mostrando que na presença de líderes altruístas as coalizões formadas são menores, já que seus membros não recebem quantidades satisfatórias de recursos e tendem a abandonar suas coalizões antes que estas possam crescer, conforme ilustrado na Figura 7. Além disso, em populações formadas por indivíduos impacientes as coalizões também tendem a ser

Figura 6 – Número de Membros de Coalizões (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

menores, já que tais indivíduos não estão dispostos a dividir seus recursos recebidos com muitos outros dentro das poucas coalizões que conseguem oferecer quantidades satisfatórias de recursos a alguns poucos membros exigentes, conforme ilustrado na Figura 8.

Tabela 8 – Número de Membros / Coalizão

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	7,4	29	38,4	34,4
<i>Intermed.</i>	10,7	28,8	34,7	32,7
<i>Impaciente</i>	9,3	19,4	20	19,1
<i>Combinado</i>	8	25,1	28,3	27,1

Fonte: Autor.

4.3.3 Quantidade de Contribuições

A Tabela 9 apresenta os valores médios das contribuições agregadas recebidas por todas as coalizões. Como já observado, coalizões de líderes altruístas, embora existam em maior número, possuem menos membros ao todo. Dado que tais líderes oferecem menos recursos aos seus apoiadores, conseqüentemente o estímulo para contribuir às suas coalizões é menor. Portanto, com uma quantidade menor de membros e falta de incentivo às contribuições, cenários com líderes altruístas resultam em menor quantidade de contribuições totais, como ilustrado na Figura 9.

Figura 7 – Número de Membros / Coalizão (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

No caso de populações compostas por indivíduos impacientes, como observado anteriormente, menos coalizões são formadas e com menor quantidade de membros em relação a cenários com indivíduos mais pacientes. Por outro lado, embora haja poucos indivíduos impacientes vinculados a coalizões, o total de contribuições se aproxima daqueles obtidos em cenários onde há um número muito maior de membros de coalizões, conforme ilustra a Figura 10. Como indivíduos impacientes são muito mais difíceis de satisfazer, os poucos que permanecem em coalizões estão recebendo grandes quantidades de recursos, caso contrário sairiam delas. Isso significa que a quantidade de recursos de que dispõem estes poucos indivíduos impacientes que ficam satisfeitos cresce rapidamente, aumentando a sua capacidade de contribuição e, por consequência, resultando em maiores contribuições totais em suas coalizões. Visto de outro ângulo, o total de contribuições às coalizões não decresce, pois poucos indivíduos aceitam contribuir com um valor muito maior, portanto não diminuindo significativamente o valor agregado das contribuições. Adicionalmente, pode-se observar na Figura 10 que, no caso dos indivíduos impacientes, a curva (linha cinza) indica certa estabilização das contribuições. Isso ocorre porque alguns indivíduos impacientes passam a oferecer a suas coalizões uma parcela tão grande dos próprios recursos que atingem o valor percentual máximo estabelecido (vide subseção 3.7.2).

De maneira complementar à análise feita, é interessante também verificar o valor médio de contribuições por membro de coalizão, o que pode ser feito dividindo-se os valores apresentados na Tabela 9 pelos valores da Tabela 7 respectivamente de acordo com as configurações experimentais correspondentes. Os resultados são apresentados na Tabela

Figura 8 – Número de Membros / Coalizão (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

Tabela 9 – Total de Contribuições

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	93 ± 152	647 ± 139	579 ± 92	631 ± 116
<i>Intermed.</i>	197 ± 226	587 ± 142	599 ± 129	567 ± 118
<i>Impaciente</i>	351 ± 203	566 ± 124	528 ± 144	510 ± 155
<i>Combinado</i>	163 ± 227	668 ± 85	678 ± 77	672 ± 87

Fonte: Autor.

10, reforçando as análises prévias. Pode-se observar que na presença de líderes altruístas as contribuições médias dos membros de coalizão são menores, conforme ilustra a Figura 11, indicando também que tais membros não permanecem em suas coalizões por muito tempo, pois, se fosse o caso, as contribuições individuais tenderiam a ser maiores. Isso reafirma a tendência já identificada de se formarem mais coalizões, uma vez que os indivíduos interessados em participar de uma coalizão não encontram nenhuma em que valha a pena permanecer.

Observando a Tabela 10 e a Figura 12 também fica claro o quão maiores são as contribuições individuais em populações compostas por indivíduos impacientes. Isso evidencia a ideia de que, apesar de em tais cenários haver menos coalizões e membros de coalizões, aqueles poucos indivíduos impacientes que conseguem encontrar uma coalizão que lhes ofereça recursos compatíveis com sua alta expectativa obtêm retorno elevado,

Figura 9 – Total de Contribuições (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

aumentando rapidamente a quantidade de recursos de que dispõem e, conseqüentemente, o montante de contribuições feitas em suas coalizões.

Tabela 10 – Contribuições / Membro de Coalizão

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	0,46	1,45	1,22	1,36
<i>Intermed.</i>	0,82	1,56	1,51	1,48
<i>Impaciente</i>	2,29	3	2,79	2,77
<i>Combinado</i>	0,84	1,94	1,9	1,93

Fonte: Autor.

4.3.4 Recursos Distribuídos

Conforme mencionado na seção 4.1, cada indivíduo realiza uma contribuição compulsória por rodada. Como indicado na Tabela 2, o valor utilizado nas simulações foi 1; além disto, a tabela mostra que as simulações contaram com 1000 indivíduos, interagindo ao longo de 1000 rodadas. Deste modo, o total arrecadado de contribuições compulsórias por rodada foi de 1000. Adicionalmente, o líder da coalizão vencedora da rodada multiplica o total arrecadado por seu fator de ganho (vide seção 3.3), resultando no valor total de recursos a serem distribuídos. Os valores médios dos recursos distribuídos a cada rodada são apresentados na Tabela 11. As pequenas diferenças observadas se devem ao fato de

Figura 10 – Total de Contribuições (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

líderes diferentes possuem fatores de ganho distintos, mas não há nenhuma correlação aparente entre os valores apresentados e suas respectivas configurações experimentais, até porque as estratégias adotadas pelos líderes têm muito mais impacto na dinâmica das coalizões do que potencialmente teriam as pequenas diferenças entre os valores totais de recursos distribuídas.

Tabela 11 – Total de Recursos Distribuídos

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	1267 ± 45	1319 ± 76	1243 ± 61	1247 ± 61
<i>Intermed.</i>	1299 ± 63	1291 ± 57	1250 ± 58	1266 ± 77
<i>Impaciente</i>	1350 ± 82	1263 ± 68	1205 ± 98	1218 ± 82
<i>Combinado</i>	1285 ± 71	1292 ± 53	1255 ± 74	1248 ± 71

Fonte: Autor.

4.3.5 Recursos Disponíveis

Antes de prosseguir com a análise dos resultados é importante salientar que, conforme mencionado na seção 4.1, cada indivíduo recebe 1000 de recursos no início de uma simulação. Os recursos devem ser utilizados para o pagamento de contribuições compulsórias e podem eventualmente ser utilizados para contribuir a uma coalizão, conforme explicado na seção 3.1. Além disso, os recursos recebidos pelos indivíduos são acrescidos

Figura 11 – Contribuições / Membro de Coalizão (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

aos recursos de que cada um já dispõe. Portanto, em um cenário hipotético no qual nenhuma coalizão fosse formada, a quantidade de recursos dos indivíduos cresceria a cada rodada, pois cada um contribuiria compulsoriamente com 1 e receberia de volta tal quantia multiplicada pelo fator de ganho (maior que 1) do líder, considerando que o líder distribua os recursos igualmente. Entretanto, quando indivíduos formam coalizões para apoiar certos líderes, o valor da contribuição é gasto para apoiar a coalizão do líder, ao contrário das contribuições compulsórias, que vão para o bem público. Deste modo, o valor correspondente às contribuições dos membros às suas coalizões a cada rodada não retorna diretamente em recursos a serem redistribuídos pelo líder.

Feitas as devidas considerações, pode-se observar na Tabela 12 a quantidade média de recursos disponíveis por indivíduo ao final das simulações para cada configuração experimental. Primeiramente, é fácil notar que apenas em cenários com líderes altruístas a quantidade média de recursos disponíveis é superior àquela do início da simulação (1000). Novamente, isso é explicado pelas baixas contribuições feitas por membros de coalizões de líderes altruístas, visto que estes não oferecem quantidades satisfatórias de recursos. Deste modo, o ganho promovido pelo líder da coalizão vencedora (através de seu respectivo fator de ganho) supera o montante gasto em contribuições feitas a todas as coalizões, levando ao aumento da quantidade média de recursos disponíveis por indivíduo. Em todos os outros cenários há uma perda de recursos totais ao longo dos ciclos, uma vez que o valor das contribuições supera o ganho gerado pelo líder da coalizão vencedora, conforme pode ser também observado na Figura 13. Já a quantidade média de recursos disponíveis

Figura 12 – Contribuições / Membro de Coalizão (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

em cenários com líderes egoístas tem valores mais baixos, visto que as quantidades de recursos oferecidos são maiores, estimulando contribuições mais elevadas. Por fim, conforme ilustrado na Figura 14, em populações compostas por indivíduos impacientes a quantidade de recursos disponíveis é menor do que o observado em populações de indivíduos pacientes, visto que as contribuições de indivíduos impacientes tendem a ser bem maiores, conforme abordado na subseção 4.3.3.

Tabela 12 – Recursos Disponíveis / Indivíduo

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	1097 ± 43	874 ± 53	862 ± 38	846 ± 45
<i>Intermed.</i>	1074 ± 57	881 ± 61	852 ± 51	870 ± 57
<i>Impaciente</i>	1040 ± 53	865 ± 52	853 ± 63	866 ± 68
<i>Combinado</i>	1077 ± 64	841 ± 33	812 ± 34	816 ± 33

Fonte: Autor.

4.3.6 Distribuição dos Recursos Disponíveis

Primeiramente, é importante diferenciar os dados sobre a distribuição média dos recursos apresentados nesta subseção daqueles apresentados na subseção 4.3.5. Os resultados apresentados na Tabela 12 indicam a quantidade média de recursos disponíveis aos indivíduos ao longo das simulações e seus respectivos desvios-padrão referem-se às

Figura 13 – Recursos Disponíveis / Indivíduo (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

diferenças obtidas entre os diversos experimentos realizados para cada configuração (vide seção 3.1). Já os resultados apresentados nesta subseção são referentes à forma como, em média, os recursos se distribuem entre os indivíduos ao final de cada simulação (após 1000 ciclos). Neste caso, os desvios-padrão indicados na Tabela 13 referem-se diretamente às próprias distribuições dos recursos.

A partir da Tabela 13, pode-se inicialmente notar que, em concordância com o verificado na subseção 4.3.5, a quantidade média de recursos disponíveis por indivíduo é maior em cenários com líderes altruístas e menor em populações compostas por indivíduos impacientes. Por outro lado, deve-se analisar em especial os desvios-padrão para entender de que maneira se dá a distribuição dos recursos. Observando-se os valores apresentados na Tabela 13, torna-se evidente que os recursos são distribuídos de maneira mais homogênea na presença de líderes altruístas, dado que os respectivos desvios-padrão são bem menores. Isso acontece porque líderes altruístas oferecem menos recursos aos seus apoiadores, desestimulando a participação em coalizões e, por consequência, distribuindo recursos de maneira mais homogênea por toda a população.

A Figura 15 ilustra a distribuição dos recursos para cada uma das estratégias de líderes, indicando no eixo das abscissas a quantidade de recursos e no eixo das ordenadas as respectivas densidades de probabilidade. A partir dela pode-se notar que na presença de líderes altruístas (linha laranja) a grande maioria dos indivíduos (mais de 60%) possui recursos entre 1100 e 1200 ao final de uma simulação, valores que estão próximos da

Figura 14 – Recursos Disponíveis / Indivíduo (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

média de 1177 indicada na Tabela 13. Já com líderes egoístas (linha azul) a maioria dos indivíduos possui recursos entre 100 e 400, porém a média indicada na Tabela 13 para este caso é de 667, sugerindo assim que alguns poucos indivíduos possuem muitos recursos acumulados. Por fim, o cenário com os perfis de líderes combinados (linha amarela) parece ser ainda mais heterogêneo, possivelmente porque a disparidade de ganhos entre membros de coalizões de líderes egoístas e membros de coalizões de líderes altruístas é ainda mais acentuada.

Já a Figura 16 ilustra a distribuição dos recursos para cada um dos perfis de perseverança. Nela pode-se observar que populações formadas por indivíduos impacientes são menos igualitárias visto que a maior parte deles possui recursos entre 20 e 100 (linha azul) ao final de uma simulação e a média indicada para este caso na Tabela 13 é de 699, implicando que pouquíssimos indivíduos impacientes concentram uma grande quantidade de recursos. Isso ocorre porque indivíduos impacientes esperam receber quantidades muito grandes de recursos, o que intensifica a competição entre eles, já que poucos terão acesso a quantidades de recursos consideradas satisfatórias e acabarão acumulando muitos recursos. Opostamente, no cenário com indivíduos pacientes (linha amarela), a maior parte deles possui recursos entre 180 e 300, o que, comparado com a média de 675 indicada na Tabela 13, sugere uma distribuição menos heterogênea neste caso.

Tabela 13 – Distribuição dos Recursos

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	1177 ± 149	675 ± 1346	667 ± 1418	619 ± 1338
<i>Intermed.</i>	1105 ± 427	707 ± 1879	654 ± 1700	702 ± 2041
<i>Impaciente</i>	1002 ± 1198	699 ± 2280	680 ± 2327	710 ± 2530
<i>Combinado</i>	1124 ± 316	627 ± 1486	579 ± 1403	578 ± 1428

Fonte: Autor.

Figura 15 – Distribuição dos Recursos (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

4.3.7 Distribuição de Membros Pelas Coalizões

Os resultados apresentados nesta subseção são referentes à forma como, em média, os membros de coalizões se distribuem entre elas ao final de cada simulação (após 1000 ciclos). Analogamente à subseção 4.3.6, os desvios-padrão indicados na Tabela 14 referem-se diretamente às próprias distribuições dos membros pelas coalizões.

Com base na Tabela 14, pode-se verificar, como já analisado na subseção 4.3.2, que as coalizões são maiores na presença de líderes egoístas, já que estes oferecem mais recursos a seus apoiadores, e menores em populações de indivíduos impacientes, uma vez que indivíduos com este perfil estão menos dispostos a dividir seus recursos recebidos com muitos outros membros. Entretanto, novamente o foco desta análise está nos desvios-

Figura 16 – Distribuição dos Recursos (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

padrão. A partir dos valores mostrados na Tabela 14, a princípio identifica-se que os desvios-padrão são maiores em cenários com líderes egoístas e quase sempre menores em populações de indivíduos impacientes, porém o padrão de distribuição ainda não fica claro, de modo que somente com a avaliação das curvas de distribuição, feita a seguir, será possível tirar maiores conclusões.

A Figura 17 ilustra a distribuição de membros pelas coalizões para cada uma das estratégias de líderes, indicando no eixo das abscissas o tamanho das coalizões (em número de membros) e no eixo das ordenadas as respectivas densidades de probabilidade. A partir dela pode-se notar que em cenários com líderes egoístas (linha azul), nos quais existem mais membros de coalizões (vide subseção 4.3.2), a quantidade de coalizões pequenas é um pouco menor e há algumas coalizões muito grandes, chegando a ter por volta de até 170 membros, o que significa que a maioria dos membros de coalizões estão concentrados em grandes coalizões ao invés de distribuídos mais homogeneamente. Isso faz sentido porque, por um lado, estratégias egoístas estimulam a procura por coalizões e, por outro, a competição entre as coalizões faz com que apenas algumas delas prevaleçam (aquelas que receberem mais contribuições e, possivelmente, tiverem mais membros), atraindo cada vez mais membros. Opostamente, com líderes altruístas (linha laranja) há mais coalizões menores e nenhuma muito grande, tendo a maior delas no máximo cerca de 50 membros.

Já a Figura 18 ilustra a distribuição de membros pelas coalizões para cada um dos perfis de perseverança. Nela pode-se observar que em populações formadas por indivíduos impacientes (linha azul), nas quais as coalizões são poucas e menores em média (vide subseção 4.3.2), a maioria das coalizões é pequena, embora haja maiores com até 70 membros. Como já analisado, coalizões formadas por indivíduos impacientes não toleram muitos membros, o que explica porque as maiores não chegam a ser tão grandes. Já em populações formadas por indivíduos pacientes (linha amarela), há várias coalizões pequenas e médias (de 10 a 50 membros, aproximadamente), mas também há algumas bem grandes, chegando a ter em torno de 160 membros. Ou seja, no caso de indivíduos impacientes, há menos membros de coalizões e estes estão distribuídos em coalizões de pequeno e médio portes e, no caso de indivíduos pacientes, há mais membros de coalizões e estes estão distribuídos em coalizões de pequeno, médio e grande portes. Portanto, não há nenhum padrão aparente que correlacione os perfis de perseverança dos indivíduos à forma com que eles se distribuem pelas coalizões.

Tabela 14 – Distribuição de Membros Pelas Coalizões

Perfil de Perseverança	Perfil de Líder			
	<i>Altruísta</i>	<i>Intermed.</i>	<i>Egoísta</i>	<i>Combinado</i>
<i>Paciente</i>	9 ± 13	30 ± 45	37 ± 51	33 ± 49
<i>Intermed.</i>	12 ± 19	29 ± 32	31 ± 36	32 ± 35
<i>Impaciente</i>	13 ± 22	18 ± 20	17 ± 20	17 ± 19
<i>Combinado</i>	9 ± 14	24 ± 28	26 ± 29	26 ± 29

Fonte: Autor.

Figura 17 – Distribuição de Membros Pelas Coalizões (Por Perfil de Líder)

Fonte: Autor.

Figura 18 – Distribuição de Membros Pelas Coalizões (Por Perfil de Perseverança)

Fonte: Autor.

5 Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo simplificado de organização política no qual indivíduos de uma sociedade devem escolher líderes cujo papel é administrar o bem público, decidindo de que forma os recursos públicos devem ser distribuídos à população. Por um lado, o modelo se inspira no clássico *Public Goods Game*, o qual propõe um cenário de partilha do bem público em que a cooperação é premiada com melhores recompensas. Por outro lado, o modelo se diferencia por incluir contribuições compulsórias, atribuir a um líder a função de distribuir os recursos e permitir a formação de coalizões para apoio aos líderes emergentes. Além disso, considera-se no modelo que líderes podem seguir diferentes estratégias e indivíduos podem ter diferentes perfis de perseverança.

Os resultados obtidos a partir da simulação do modelo indicam que, por um lado, líderes egoístas estimulam a busca por coalizões e induzem os indivíduos a se concentrarem em algumas grandes coalizões estáveis, ao invés de formarem muitas pequenas. Consequentemente, líderes egoístas promovem uma distribuição mais heterogênea dos recursos, uma vez que priorizam ao máximo suas coalizões, provocando uma concentração elevada de recursos. Por outro lado, líderes altruístas desincentivam a busca por coalizões por não oferecerem retornos adequados de recursos aos indivíduos que nelas participam, os quais acabam sendo levados a constantemente transitarem de uma coalizão a outra em busca de maior retorno, geralmente sem sucesso, o que até provoca o surgimento de mais coalizões, porém todas muito pequenas e instáveis. Portanto, a presença de líderes altruístas acaba promovendo uma distribuição mais homogênea dos recursos e maximizando os recursos da população como um todo, uma vez que apenas em cenários com líderes altruístas as quantidades médias de recursos de que os indivíduos dispõem aumentam ao longo da simulação.

No caso dos perfis de perseverança, os resultados obtidos indicam que indivíduos impacientes promovem uma competição mais acirrada por recursos. Uma vez que tais indivíduos têm elevado limiar de satisfação, mesmo líderes egoístas dificilmente conseguem oferecer recursos de acordo com suas altas expectativas. Portanto há uma tendência de existirem menos coalizões, pois a maior parte das coalizões formadas dura muito pouco tempo, dado que indivíduos impacientes também têm baixo grau de tolerância, levando-os a abandonarem suas coalizões ao primeiro sinal de que elas não valem a pena. Além disso, coalizões formadas por indivíduos impacientes não têm espaço para muitos membros, uma vez que eles não estão dispostos a dividirem seus recursos recebidos com muitos outros. Isso leva a cenários em que algumas coalizões de médio porte emergem e se tornam dominantes, criando um ciclo de concentração de recursos no qual seus membros recebem uma fatia enorme dos recursos totais, acumulando recursos rapidamente e contribuindo com quantias

cada vez maiores às suas coalizões, o que aumenta a chance de vitória na rodada seguinte e assim por diante.

De maneira genérica, este trabalho acaba reforçando indiretamente a percepção de que a sociedade teria muito a ganhar caso as pessoas adotassem um comportamento mais coletivista e seus líderes fossem mais justos. Entretanto, enquanto a cooperação espontânea não for o comportamento predominante, fazem-se necessárias melhores regulações para minimizar os efeitos indesejados da disputa pelo poder e da competição por recursos. Mecanismos como o financiamento de campanhas políticas devem ser revisados e representantes públicos devem ser fiscalizados pela população para evitar as tantas distorções potencialmente fomentadas pelas estruturas políticas vigentes.

Quanto a trabalhos futuros, uma ideia interessante seria acrescentar ao modelo um sistema de votação. Deste modo os líderes não mais seriam escolhidos diretamente a partir das contribuições recebidas por suas coalizões, mas sim como resultado de um processo de interação social que culminasse com indivíduos escolhendo seus líderes através do voto. Neste caso, poderia ser incluída a possibilidade de transmissão da reputação para que os indivíduos trocassem informações relativas às suas percepções sobre os líderes disponíveis. Além disso, outra opção interessante seria permitir que, ao invés de um único líder, um grupo de líderes fosse responsável por distribuir os recursos a cada rodada, de modo que estratégias mais complexas pudessem ser adotadas por tais líderes envolvendo também processos deliberativos.

Referências

- ALBERT, R.; BARABÁSI, A.-L. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, v. 74, n. 1, p. 47–97, 2002. ISSN 0034-6861. Citado na página 29.
- BARABÁSI, A.-L.; BONABEAU, E. Scale-free networks. *Scientific American*, v. 3, n. 1, p. 50–59, 2003. ISSN 00368733. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 29.
- BOLDI, P. et al. Voting in social networks. In: ACM CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, 18., 2009. *Proceedings ...* [S.l.], 2009. p. 777–786. ISBN 9781605585123. Citado na página 26.
- BURGER, N. E.; KOLSTAD, C. D. Voluntary public goods provision, coalition formation, and uncertainty. *National Bureau of Economic Research Working Paper Series*, 2009. Citado na página 21.
- DOUCETTE, J. et al. Voting with Social Networks: Truth Springs from Argument Amongst Friends. *Explore-2015.Preflib.Org*, 2015. Citado na página 26.
- FISCHBACHER, U.; GÄCHTER, S.; FEHR, E. Are people conditionally cooperative? Evidence from a public goods experiment. *Economics Letters*, 2001. ISSN 01651765. Citado na página 21.
- GIARDINI, F.; CONTE, R. Gossip for social control in natural and artificial societies. *Simulation*, v. 88, n. 1, p. 18–32, 2012. ISSN 0037-5497. Citado na página 25.
- GIARDINI, F.; CONTE, R.; PAOLUCCI, M. Reputation. In: EDMONDS, B.; MEYER, R. (Eds.). *Simulating Social Complexity*. [S.l.: s.n.], 2013. cap. 15, p. 754. Citado na página 25.
- GIARDINI, F. et al. Group size and gossip strategies: An ABM tool for investigating reputation-based cooperation. In: LECTURE NORES IN COMPUTER SCIENCE (INCLUDING SUBSERIES LECTURE NOTES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LECTURE NOTES IN BIOINFORMATICS), 2015. *Proceedings ...* [S.l.], 2015. v. 9002, p. 104–118. ISBN 9783319146263. ISSN 16113349. Citado na página 26.
- GIARDINI, F. et al. Punishment and gossip: Sustaining cooperation in a Public Goods Game. In: ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING, 2014. *Proceedings ...* [S.l.], 2014. v. 229 AISC, p. 107–118. ISBN 9783642398285. ISSN 21945357. Citado na página 25.
- GIARDINI, F.; VILONE, D.; CONTE, R. Consensus emerging from the bottom-up: the role of cognitive variables in opinion dynamics. *Frontiers in Physics*, v. 3, n. September, p. 1–10, 2015. ISSN 2296-424X. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fphy.2015.00064>>. Citado na página 26.
- GILENS, M.; PAGE, B. I. Testing theories of American politics: Elites, interest groups, and average citizens. *Perspectives on Politics*, 2014. ISSN 15375927. Citado 3 vezes nas páginas 16, 19 e 23.

HAMMAN, J. R.; WEBER, R. A.; WOON, J. An Experimental Investigation of Electoral Delegation and the Provision of Public Goods. *American Journal of Political Science*, 2011. ISSN 00925853. Citado na página 22.

IEONG, S.; SHOHAM, Y. Marginal contribution nets: A compact representation scheme for coalitional games. In: ACM CONFERENCE ON ELECTRONIC COMMERCE, 2005. *Proceedings ...* [S.l.], 2005. ISBN 1595930493. Citado na página 27.

LIMA, I. C. A. de. *GAVEL: A Sanction-Based Regulation Mechanism for Normative Multiagent Systems*. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, 2019. Citado na página 25.

LUDESCHER, L. G.; SICHMAN, J. S. Efeitos de estratégias de distribuição de recompensas em coalizões baseadas em agentes: resultados preliminares. In: WORKSHOP-SCHOOL ON AGENTS, ENVIRONMENTS, AND APPLICATIONS, 2019. *Proceedings ...* [S.l.], 2019. Citado na página 40.

LUDESCHER, L. G.; SICHMAN, J. S. Effects of reward distribution strategies and perseverance profiles on agent-based coalitions dynamics. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 41.

LUKE, S. et al. MASON: A Multiagent Simulation Environment. *Simulation*, v. 81, n. 7, p. 517–527, 2005. ISSN 0037-5497. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0037549705058073>>. Citado na página 24.

MINAR, N. The Swarm Simulation System : A Toolkit for Building Multi-agent Simulations. *Simulation*, 1996. Citado na página 24.

MUIS, J. Simulating political stability and change in the Netherlands (1998-2002): An agent-based model of party competition with media effects empirically tested. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2010. ISSN 14607425. Citado na página 28.

NARDIN, L. G.; ROSSET, L. M.; SICHMAN, J. S. Scale and Topology Effects on Agent-Based Simulation. In: ADAMATTI, D. F.; DIMURO, G. P.; COELHO, H. (Eds.). *Interdisciplinary Applications of Agent-Based Social Simulation and Modeling*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 36–51. Citado na página 27.

NORTH, M. J. et al. Complex adaptive systems modeling with Repast Symphony. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 2013. ISSN 21943206. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 39.

OZIK, J. et al. The ReLogo agent-based modeling language. In: WINTER SIMULATIONS CONFERENCE (WSC), 2013. *Proceedings ...* [S.l.], 2013. p. 1560–1568. ISBN 978-1-4799-3950-3. Citado na página 39.

QUATTROCIOCCI, W.; CONTE, R.; LODI, E. Opinions within Media, Power and Gossip. *arxiv - social media intelligence*, v. 14, n. 4, p. 567–586, 2011. ISSN 0219-5259. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1102.2336>>. Citado na página 26.

SHELLING, T. C. Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, v. 1, p. 143–186, 1971. ISSN 0022-250X. Citado na página 24.

SCHREIBER, D. The Emergence of Parties: An Agent-Based Simulation. *Political Research Quarterly*, 2014. ISSN 10659129. Citado na página 28.

- SHEHORY, O.; KRAUS, S. Coalition formation among autonomous agents: Strategies and complexity (preliminary report). In: EUROPEAN WORKSHOP ON MODELLING AUTONOMOUS AGENTS IN A MULTI-AGENT WORLD, 2005. *Proceedings ...* [S.l.], 2005. Citado na página 27.
- SICHMAN, J. S. Operationalizing complex systems. In: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TOVOLLI, M. H. (Eds.). *Modeling complex systems for public policies*. [S.l.: s.n.], 2015. cap. 5, p. 85–123. Citado na página 29.
- VALKERING, P. et al. Modelling cultural and behavioural change in water management: an integrated, agent based, gaming approach. *The Integrated Assessment Journal: Bridging Sciences & Policy*, 2009. ISSN 1389-5176. Citado na página 28.
- WIKIMEDIA. *Bartlett's test*. [S.l.], 2019. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bartlett%27s_test> (acessado em 20 de outubro de 2019). Citado na página 42.
- WIKIMEDIA. *Comparison of agent-based modeling software*. [S.l.], 2019. <https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_agent-based_modeling_software> (acessado em 10 de setembro de 2019). Citado na página 39.
- WIKIMEDIA. *Democracy*. [S.l.], 2019. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Democracy>> (acessado em 15 de novembro de 2019). Citado na página 15.
- WIKIMEDIA. *History of democracy*. [S.l.], 2019. <https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_democracy> (acessado em 15 de novembro de 2019). Citado na página 15.
- WIKIMEDIA. *Politics (Aristotle)*. [S.l.], 2019. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Politics_\(Aristotle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Politics_(Aristotle))> (acessado em 15 de novembro de 2019). Citado na página 15.
- WIKIMEDIA. *Welch's t-test*. [S.l.], 2019. <https://en.wikipedia.org/wiki/Welch%27s_t-test> (acessado em 20 de outubro de 2019). Citado na página 42.
- WILENSKY, U. NetLogo. *Center for Connected Learning and ComputerBased Modeling Northwestern University Evanston IL*, 1999. Citado na página 24.
- WOOLDRIDGE, M. *MultiAgent Systems*. 2. ed. [S.l.]: Wiley, 2009. Citado na página 23.

A Tabelas de Resultados do Teste t de Welch

Tabela 15 – Teste t de Welch - Número de Coalizões

Config. 1	Config. 2	Valor- p	Médias Iguais
#1	#2	1,41E-4	X
#1	#3	8,79E-16	X
#1	#4	2,35E-2	X
#2	#3	2,42E-6	X
#2	#4	1,20E-1	✓
#3	#4	2,98E-9	X
#5	#6	6,50E-5	X
#5	#7	9,17E-13	X
#5	#8	2,13E-3	X
#6	#7	2,14E-14	X
#6	#8	3,14E-2	X
#7	#8	3,22E-21	X
#9	#10	6,39E-5	X
#9	#11	7,69E-21	X
#9	#12	2,59E-1	✓
#10	#11	3,51E-14	X
#10	#12	1,70E-7	X
#11	#12	4,59E-30	X
#13	#14	1,47E-5	X
#13	#15	3,18E-13	X
#13	#16	1,28E-1	✓
#14	#15	1,32E-12	X
#14	#16	2,96E-5	X
#15	#16	1,87E-18	X
#1	#5	1,23E-19	X
#1	#9	1,06E-20	X
#1	#13	1,05E-21	X
#5	#9	6,18E-7	X
#5	#13	1,34E-3	X
#9	#13	2,75E-3	X
#2	#6	8,63E-12	X
#2	#10	2,38E-13	X

#2	#14	4,10E-13	X
#6	#10	1,43E-6	X
#6	#14	7,74E-5	X
#10	#14	2,31E-1	✓
#3	#7	7,90E-11	X
#3	#11	2,82E-11	X
#3	#15	6,08E-11	X
#7	#11	4,24E-3	X
#7	#15	4,98E-1	✓
#11	#15	3,49E-2	X
#4	#8	3,45E-13	X
#4	#12	4,03E-14	X
#4	#16	4,81E-14	X
#8	#12	2,81E-6	X
#8	#16	3,17E-3	X
#12	#16	1,32E-1	✓

Fonte: Autor.

Tabela 16 – Teste t de Welch - Número de Membros de Coalizões

Config. 1	Config. 2	Valor-p	Médias Iguais
#1	#2	5,66E-3	X
#1	#3	4,00E-5	X
#1	#4	7,21E-1	✓
#2	#3	1,35E-9	X
#2	#4	2,21E-3	X
#3	#4	1,88E-4	X
#5	#6	1,27E-21	X
#5	#7	6,61E-47	X
#5	#8	2,59E-24	X
#6	#7	3,99E-52	X
#6	#8	1,94E-14	X
#7	#8	3,01E-42	X
#9	#10	2,45E-34	X
#9	#11	1,05E-54	X
#9	#12	5,20E-53	X
#10	#11	1,22E-53	X

#10	#12	2,87E-20	X
#11	#12	6,08E-40	X
#13	#14	5,61E-35	X
#13	#15	2,55E-60	X
#13	#16	1,35E-42	X
#14	#15	3,27E-53	X
#14	#16	2,44E-17	X
#15	#16	2,20E-40	X
#1	#5	3,71E-25	X
#1	#9	6,88E-24	X
#1	#13	9,55E-24	X
#5	#9	4,72E-8	X
#5	#13	5,62E-4	X
#9	#13	9,95E-6	X
#2	#6	1,26E-14	X
#2	#10	3,86E-16	X
#2	#14	4,31E-15	X
#6	#10	8,37E-8	X
#6	#14	4,63E-2	X
#10	#14	5,32E-5	X
#3	#7	2,79E-9	X
#3	#11	3,01E-9	X
#3	#15	7,68E-8	X
#7	#11	9,22E-1	✓
#7	#15	1,98E-1	✓
#11	#15	1,91E-1	✓
#4	#8	3,89E-16	X
#4	#12	5,52E-17	X
#4	#16	1,82E-16	X
#8	#12	2,87E-10	X
#8	#16	5,35E-3	X
#12	#16	1,73E-5	X

Fonte: Autor.

Tabela 17 – Teste t de Welch - Quantidade de Contribuições

Config. 1	Config. 2	Valor- p	Médias Iguais
-----------	-----------	------------	---------------

#1	#2	4,16E-2	X
#1	#3	8,47E-7	X
#1	#4	1,65E-1	✓
#2	#3	7,58E-3	X
#2	#4	5,64E-1	✓
#3	#4	1,32E-3	X
#5	#6	1,04E-1	✓
#5	#7	2,09E-2	X
#5	#8	4,88E-1	✓
#6	#7	5,46E-1	✓
#6	#8	1,02E-2	X
#7	#8	5,12E-4	X
#9	#10	4,97E-1	✓
#9	#11	1,11E-1	✓
#9	#12	3,04E-5	X
#10	#11	5,15E-2	✓
#10	#12	5,82E-3	X
#11	#12	8,92E-6	X
#13	#14	3,71E-2	X
#13	#15	1,22E-3	X
#13	#16	1,27E-1	✓
#14	#15	1,18E-1	✓
#14	#16	2,40E-4	X
#15	#16	9,63E-6	X
#1	#5	3,75E-21	X
#1	#9	1,19E-19	X
#1	#13	1,85E-21	X
#5	#9	3,00E-2	X
#5	#13	6,33E-1	✓
#9	#13	5,82E-2	✓
#2	#6	2,00E-10	X
#2	#10	6,55E-11	X
#2	#14	5,25E-10	X
#6	#10	7,40E-1	✓
#6	#14	5,49E-1	✓
#10	#14	3,21E-1	✓
#3	#7	9,02E-6	X

#3	#11	2,65E-4	X
#3	#15	1,18E-3	X
#7	#11	2,81E-1	✓
#7	#15	1,29E-1	✓
#11	#15	6,41E-1	✓
#4	#8	1,06E-13	X
#4	#12	7,42E-14	X
#4	#16	7,89E-14	X
#8	#12	6,26E-1	✓
#8	#16	8,51E-1	✓
#12	#16	7,76E-1	✓

Fonte: Autor.

Tabela 18 – Teste t de Welch - Total de Recursos Distribuídos

Config. 1	Config. 2	Valor-p	Médias Iguais
#1	#2	2,99E-2	X
#1	#3	1,66E-5	X
#1	#4	2,62E-1	✓
#2	#3	9,53E-3	X
#2	#4	4,15E-1	✓
#3	#4	1,72E-3	X
#5	#6	1,10E-1	✓
#5	#7	3,60E-3	X
#5	#8	1,17E-1	✓
#6	#7	8,56E-2	✓
#6	#8	9,32E-1	✓
#7	#8	6,60E-2	✓
#9	#10	6,27E-1	✓
#9	#11	8,16E-2	✓
#9	#12	4,99E-1	✓
#10	#11	3,53E-2	X
#10	#12	7,95E-1	✓
#11	#12	3,20E-2	X
#13	#14	3,04E-1	✓
#13	#15	1,26E-1	✓
#13	#16	9,76E-1	✓

#14	#15	2,37E-2	$\times$
#14	#16	3,47E-1	✓
#15	#16	1,41E-1	✓
#1	#5	2,30E-3	$\times$
#1	#9	8,15E-2	✓
#1	#13	1,49E-1	✓
#5	#9	7,20E-5	$\times$
#5	#13	1,63E-4	$\times$
#9	#13	7,90E-1	✓
#2	#6	6,17E-1	✓
#2	#10	2,90E-3	$\times$
#2	#14	7,20E-2	✓
#6	#10	7,85E-3	$\times$
#6	#14	1,51E-1	✓
#10	#14	3,84E-1	✓
#3	#7	3,89E-5	$\times$
#3	#11	7,41E-8	$\times$
#3	#15	6,33E-8	$\times$
#7	#11	1,12E-2	$\times$
#7	#15	2,58E-2	$\times$
#11	#15	5,93E-1	✓
#4	#8	6,39E-1	✓
#4	#12	1,16E-1	✓
#4	#16	4,73E-2	$\times$
#8	#12	2,91E-2	$\times$
#8	#16	7,93E-3	$\times$
#12	#16	7,02E-1	✓

Fonte: Autor.

Tabela 19 – Teste t de Welch - Recursos Disponíveis

Config. 1	Config. 2	Valor- p	Médias Iguais
#1	#2	8,09E-2	✓
#1	#3	3,00E-5	$\times$
#1	#4	1,59E-1	✓
#2	#3	2,28E-2	$\times$
#2	#4	8,41E-1	✓

#3	#4	1,94E-2	✗
#5	#6	6,61E-1	✓
#5	#7	5,01E-1	✓
#5	#8	4,79E-3	✗
#6	#7	2,89E-1	✓
#6	#8	2,68E-3	✗
#7	#8	3,50E-2	✗
#9	#10	3,80E-1	✓
#9	#11	4,99E-1	✓
#9	#12	1,99E-6	✗
#10	#11	9,40E-1	✓
#10	#12	9,99E-4	✗
#11	#12	3,54E-3	✗
#13	#14	7,09E-2	✓
#13	#15	1,74E-1	✓
#13	#16	4,93E-3	✗
#14	#15	8,09E-1	✓
#14	#16	4,36E-5	✗
#15	#16	7,05E-4	✗
#1	#5	7,48E-25	✗
#1	#9	3,84E-30	✗
#1	#13	4,94E-30	✗
#5	#9	2,97E-1	✓
#5	#13	2,87E-2	✗
#9	#13	1,47E-1	✓
#2	#6	2,47E-18	✗
#2	#10	1,40E-22	✗
#2	#14	5,78E-20	✗
#6	#10	4,76E-2	✗
#6	#14	4,93E-1	✓
#10	#14	1,83E-1	✓
#3	#7	1,24E-18	✗
#3	#11	8,52E-18	✗
#3	#15	1,38E-15	✗
#7	#11	4,04E-1	✓
#7	#15	9,37E-1	✓
#11	#15	4,18E-1	✓

#4	#8	1,03E-21	X
#4	#12	8,74E-24	X
#4	#16	1,96E-23	X
#8	#12	1,69E-3	X
#8	#16	5,47E-3	X
#12	#16	6,62E-1	✓

Fonte: Autor.