

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Computação



Tese

Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG: estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades

Miriam Blank Born

Pelotas, 2022

Míriam Blank Born

Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG: estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Marilton Sanhotene de Aguiar
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Diana Francisca Adamatti

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B736m Born, Míriam Blank

Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG : estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades / Míriam Blank Born ; Marilton Sanchotene de Aguiar, orientador ; Diana Francisca Adamatti, coorientadora. — Pelotas, 2022.

131 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Sistemas multiagente. 2. Recursos naturais. 3. Jogos de papéis. 4. Moise. 5. Jacamo. I. Aguiar, Marilton Sanchotene de, orient. II. Adamatti, Diana Francisca, coorient. III. Título.

CDD : 005

Míriam Blank Born

Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG: estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação, Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 7 de abril de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marilton Sanchotene de Aguiar (orientador)
Doutor em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Profa. Dra. Diana Francisca Adamatti (coorientadora)
Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo.

Profa. Dra. Raquel de Miranda Barbosa
Doutora em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Profa. Dra. Rejane Frozza
Doutora em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Tiago Thompsen Primo
Doutor em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo infinito amor e misericórdia, por ter me dado força para a conclusão de mais essa etapa em minha vida.

Agradeço à minha família, aos meus pais Neldina e Vilson e meu esposo Wagner pelo amor e compreensão durante essa caminhada. Agradeço ao meu filhote canino Snoopy pelo amor incondicional e companheirismo.

Agradeço imensamente aos meus orientadores Marilton e Diana pelo companheirismo, dedicação e paciência que tiveram comigo durante todo esse processo. Vocês são meus Mestres, me orgulho muito em dizer que sou orientanda de vocês e que faço parte deste projeto e, mais uma vez, muito obrigada pela oportunidade.

Agradeço aos colegas/parceiros/professores do projeto, Bruna Leitzke, Giovani Farias, Marla Melo, Matheus Gonçalves, Paulo Rodrigues, Vinícius Martins, Fernanda Mota, Mairon Belchior, Bruno Alves, Karine Pestana, professora Raquel Barbosa e professor Ícaro da Cunha, foi um convívio maravilhoso e que deixará muita saudade. Agradeço também ao professor Antônio Carlos da Rocha Costa que muito contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho, muito obrigada professor! Obrigada a todos (as) pelas dicas, conselhos e conversas que tivemos nesta caminhada, aprendi muito com vocês!!

Agradeço mais uma vez ao colega/amigo Giovani Farias por toda ajuda no percurso desta tese e também a colega/amiga Fernanda Mota pela parceria no desenvolvimento dos artigos e, aos dois, pelas conversas, dicas, palavras de incentivo e motivação durante todo este processo. Agradeço também a minha amiga Maria Claudia Lopez pela amizade e ótimas conversas durante todos estes anos, desde o mestrado quando nos conhecemos.

Agradeço aos colegas/amigos do Laboratório de Sistemas Inteligentes da UFPel, Plínio Finkenauer, Kristofer Kappel, Ulisses Brisolara, Renata Junges e do LAMSA da FURG Angélica Theis, Nilzair Barreto e aos demais pela parceria e conversas divertidas que tivemos. Aos colegas do LAMSA obrigada pela parceria e auxílio nas nossas sessões do jogo de RPG Gorim, nos divertimos e aprendemos muito!!

Agradeço a Agência Nacional de Águas (ANA) – Pró-Recursos Hídricos Chamada Nº 16/2017 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro indispensável para a realização deste trabalho. E, também, as instituições Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e a Universidade do Rio Grande (FURG) por toda estrutura fornecida para apoiar este trabalho.

*Existem homens que lutam um dia e são bons;
Existem outros que lutam um ano e são melhores;
Existem aqueles que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, existem os que lutam toda a vida.
Estes são imprescindíveis.*

— BERTOLT BRECHT

*Não é sobre chegar no topo do mundo
E saber que venceu
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu.*

— TREM BALA – ANA VILELA

RESUMO

BORN, Míriam Blank. **Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG: estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades**. Orientador: Marilton Sanhotene de Aguiar. 2022. 131 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Na atualidade, observa-se o crescimento das pesquisas na área da Inteligência Artificial (IA) que buscam uma maneira efetiva de entendimento e aplicação de técnicas inteligentes para a solução de problemas complexos nos diversos campos do conhecimento, como em sistemas ecológicos, econômicos e sociais. Neste contexto, os Sistemas Multiagente (SMA), como exemplo de IA distribuída, apresentam-se como um método apropriado e viável na busca de soluções para a modelagem de sistemas e simulações baseadas em interações humanas. Nestas simulações, os agentes possuem regras de interação e comunicação para que haja devida organização do ambiente e cada agente desempenhe seu papel. A aplicação de SMA em modelagem e simulação no gerenciamento de recursos naturais é estudada há alguns anos com pesquisas publicadas e resultados satisfatórios. A área de recursos naturais, especialmente o recurso hídrico no âmbito de bacias hidrográficas, apresenta numerosos conflitos relacionados à distribuição e compartilhamento do recurso e sua gestão torna-se indispensável na busca de soluções para este cenário. Neste contexto, esta Tese apresenta como objetivo principal a modelagem a nível organizacional de agentes para o estudo da complexidade e das funcionalidades de personagens de um jogo do tipo RPG. Mais especificamente, tem-se como estudo de caso o Jogo RPG Gorim, desenvolvido no cenário da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. A modelagem desta organização foi realizada na ferramenta MOISE⁺ e implementação para a verificação desta na plataforma JaCaMo, através de cenários hipotéticos. Assim, a partir de quatro cenários hipotéticos, criados para a interação dos agentes da organização — contemplando os grupos de Reguladores, Fiscalizadores, Produtores e também a Propina (permitida a todos os grupos) — verificou-se que, com a modelagem proposta, os agentes conseguem formar os grupos do esquema especificado e buscam corretamente os objetivos e as missões modeladas. Desta forma, os cenários validam os níveis estrutural, funcional e deôntica/normativa do Jogo RPG Gorim.

Palavras-chave: Sistemas Multiagente. Recursos Naturais. Jogos de Papéis. MOISE⁺. JaCaMo.

ABSTRACT

BORN, Míriam Blank. **An organizational-level agents' modeling in an RPG-type game: a study of the complexity of its characters and its functionalities.** Advisor: Marilton Sanchotene de Aguiar. 2022. 131 f. Thesis (Doctorate in Computer Science) – Technology Development Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

Currently, there is a growth in Artificial Intelligence (AI) research that seeks an effective way of understanding and applying intelligent techniques to solve complex problems in different fields of knowledge, such as ecological, economic, and social systems. In this context, Multiagent Systems (MAS), as an example of distributed AI, are presented as an appropriate and viable method in searching for solutions for modeling systems and simulations based on human interactions. In these simulations, the agents have interaction and communication rules so that the environment is appropriately organized and each agent plays its role. The application of MAS in modeling and simulation in the management of natural resources has been studied for some years with published research and satisfactory results. The area of natural resources, especially the water resource in the context of hydrographic basins, presents numerous conflicts related to the distribution and sharing of the resource, and its management becomes indispensable in the search for solutions for this scenario. In this context, this Thesis presents as its primary objective the modeling of agents at an organizational level to study the complexity and features of characters in an RPG-type game. As a case study, the Gorim RPG Game was developed in the Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo watershed scenario. The modeling of this organization is carried out in the *MOISE⁺* tool and implementation for its validation in the JaCaMo platform through hypothetical scenarios. Thus, from four hypothetical scenarios created for the interaction of the organization's agents — contemplating the groups of Regulators, Supervisors, Producers, and also the Fee (allowed to all groups) — it was found that with the in the proposed modeling, agents can form the specified schema groups and correctly pursue the modeled objectives and missions. In this way, the scenarios validate the structural, functional, and deontic/normative levels of the Gorim RPG Game.

Keywords: Multi-agents Systems. Natural Resources. Role-Playing Game. *MOISE⁺*. JaCaMo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Visão geral da Tese no contexto do estudo de caso.	18
Figura 2	Arquitetura proposta para agente reativo. Fonte: (RUSSELL; NORVIG, 2013).	24
Figura 3	Arquitetura proposta para agente cognitivo. Fonte: Adaptado de Demazeau; Müller (1990).	25
Figura 4	Estrutura de um Sistema Multiagente. Fonte: (BORDINI; HÜBNER; WOOLDRIDGE, 2007).	25
Figura 5	Tipos de visão de uma organização SMA: (a) Visão centrada nos agentes e (b) Visão centrada na organização. Fonte: (HÜBNER, 2003).	26
Figura 6	Modelo organizacional AALAADIN. Fonte: (FERBER; GUTKNECHT, 1998).	28
Figura 7	Modelo organizacional TOVE. Fonte: (FOX; GRUNINGER, 1998).	28
Figura 8	Estrutura da arquitetura BDI genérica. Adaptado de Wooldridge (1999).	30
Figura 9	Etapas do processo de simulação. Fonte: (ADAMATTI, 2011).	33
Figura 10	Integrações entre RPG e SMA.	36
Figura 11	Interface da plataforma CORMAS. Fonte: (LE PAGE et al., 2000).	45
Figura 12	Exemplo de aplicação na plataforma GAMA.	47
Figura 13	Mapeamento das parcelas das cidades Atlantis e Cidadela.	51
Figura 14	Representação dos níveis de poluição do ambiente.	51
Figura 15	Representação dos personagens em cada uma das cidades do Jogo Gorim.	53
Figura 16	Cartões dos personagens utilizados no RPG do grupo dos Reguladores: (a) Prefeito de Atlantis e (b) Vereador de Cidadela.	54
Figura 17	Cartões dos personagens utilizados no RPG do grupo dos Fiscalizadores: (a) Fiscal Ambiental de Atlantis e (b) NPC.	54
Figura 18	Cartões dos personagens utilizados no RPG do grupo dos Produtores: (a) Empresário de Sementes e (b) Agricultor de Cidadela.	54
Figura 19	Diagrama Geral de Classes.	56
Figura 20	Dinâmica do Jogo Gorim.	57
Figura 21	Ficha para Preenchimento do Jogo Gorim.	58
Figura 22	Ficha de Informações do Jogo Gorim.	59
Figura 23	Diagrama de Integração.	60
Figura 24	Visão geral das dimensões do modelo proposto no JaCaMo.	61

Figura 25	Modelo proposto da Especificação Estrutural.	63
Figura 26	Modelo proposto da especificação funcional do grupo dos Reguladores.	66
Figura 27	Modelo proposto da especificação funcional do grupo dos Fiscalizadores.	67
Figura 28	Modelo proposto da especificação funcional do grupo dos Produtores.	69
Figura 29	Modelo proposto da especificação funcional da propina geral a todos os grupos.	70
Figura 30	Código do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Reguladores.	75
Figura 31	Código do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Fiscalizadores.	76
Figura 32	Código do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Produtores.	76
Figura 33	Código do percurso da formação do esquema funcional da Propina.	77
Figura 34	Resultado do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Reguladores.	77
Figura 35	Resultado do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Fiscalizadores.	78
Figura 36	Resultado do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Produtores.	79
Figura 37	Resultado do percurso da formação do esquema funcional da Propina.	79
Figura 38	Código de Exemplo do Cenário 1.	80
Figura 39	Código fonte do grupo dos Reguladores.	81
Figura 40	Resultado de formação do esquema funcional do grupo dos Reguladores.	81
Figura 41	Missões do grupo dos Reguladores.	82
Figura 42	Resultado da execução da interação no grupo dos Reguladores.	84
Figura 43	Código de Exemplo do Cenário 2.	84
Figura 44	Código fonte do grupo dos Fiscalizadores.	85
Figura 45	Resultado de formação do esquema funcional do grupo dos Fiscalizadores.	86
Figura 46	Missões do grupo dos Fiscalizadores.	87
Figura 47	Resultado da execução da interação no grupo dos Fiscalizadores.	89
Figura 48	Código de Exemplo do Cenário 3.	89
Figura 49	Código fonte do grupo dos Produtores.	90
Figura 50	Resultado de formação do esquema funcional do grupo dos Produtores.	91
Figura 51	Missões do grupo dos Produtores.	92
Figura 52	Resultado da execução da interação no grupo dos Produtores.	93
Figura 53	Código de Exemplo do Cenário 4.	94
Figura 54	Código fonte da Propina.	95
Figura 55	Resultado de formação do esquema funcional da Propina.	95
Figura 56	Missões dos agentes da Propina.	96
Figura 57	Resultado da execução da interação dos agentes na Propina.	97
Figura 58	Diagrama de Sequência do Prefeito.	128
Figura 59	Diagrama de Sequência do Vereador.	129

Figura 60	Diagrama de Sequência da ONG.	129
Figura 61	Diagrama de Sequência do Fiscal Ambiental.	130
Figura 62	Diagrama de Sequência do Agricultor.	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Síntese comparativa dos trabalhos relacionados.	40
Tabela 2	Descrição dos objetivos/metasp do grupo Regulador.	65
Tabela 3	Descrição dos objetivos/metasp do grupo Fiscalizador.	68
Tabela 4	Descrição dos objetivos/metasp do grupo Produtor.	70
Tabela 5	Descrição dos objetivos/metasp dos grupos Regulador, Fiscalizador e Produtor.	70
Tabela 6	Missões e Planos dos grupos Regulador, Fiscalizador, Produtor para Propina.	71
Tabela 7	Missões e Planos do grupo Regulador - Prefeito.	71
Tabela 8	Missões e Planos do grupo Regulador - Vereador.	71
Tabela 9	Missões e Planos do grupo Fiscalizador.	72
Tabela 10	Missões e Planos do grupo Produtor - Empresário e/ou Agricultor.	72
Tabela 11	Missões e Planos do grupo Produtor - Empresário.	73
Tabela 12	Missões e Planos do grupo Produtor - Agricultor.	73
Tabela 13	Resultado da especificação funcional do grupo dos Reguladores. .	82
Tabela 14	Resultado da especificação funcional do grupo dos Fiscalizadores.	86
Tabela 15	Resultado da especificação funcional do grupo dos Produtores. . .	91
Tabela 16	Resultado da especificação funcional da Propina.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	<i>Agent Communication Language</i>
ACT-R	<i>Adaptive Character of Thought</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
BDI	<i>Belief-Desire-Intention</i>
C3	Centro de Ciências Computacionais
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Cirad	<i>La Recherche Agronomique pour le Développement</i>
COGNET	<i>COGnition as a NEtwork of Tasks</i>
ComMod	<i>Approach Companion Modeling</i>
CORMAS	<i>COmmon-pool Resources and Multi-Agent Simulations</i>
ED	Especificação Deontica
EE	Especificação Estrutural
EF	Especificação Funcional
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents, Agent Communication Language</i>
FRC	Função de Revisão de Crenças
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
GAMA	<i>GIS Agent-based Modeling Architecture</i>
GAML	<i>GAma Modeling Language</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GMABS	<i>Games and Multi-Agent-Based Simulation</i>
GPS	<i>General Problem Solver</i>
IA	Inteligência Artificial
IAD	Inteligência Artificial Distribuída
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>

IRD	<i>Institut de Recherche pour le Développement</i>
KQML	<i>Knowledge Query and Manipulation Language</i>
LAMSA	Laboratório de Modelagem e Simulação Social e Ambiental
MABS	<i>Multi-Agent-Based Simulation</i>
Mason	<i>Multi-Agent Simulator Of Neighborhoods</i>
MIP	Manejo Integrado de Pragas
NLE	<i>Nonlocal-Effects</i>
NPC	<i>Non Player Character</i>
ONG	Organização Não-Governamental
RDP	Resolução Distribuída de Problemas
Repast	<i>Recursive Porous Agent Simulation Toolkit</i>
RPG	<i>Role-Playing Game</i>
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SINGERH	Sistema Nacional dos Recursos Hídricos
SMA	Sistema Multiagentes
TAEMS	<i>Task Analysis, Environment Modeling and Simulation</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UMMISCO	<i>Unité de Modélisation Mathématique et Informatique des Systèmes Complexes</i>
UPMC	<i>Université Pierre et Marie Curie</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	19
1.2	Organização do Texto	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Recursos Naturais e Recursos Hídricos	21
2.2	Agentes e Sistemas Multiagente	23
2.2.1	Organização	26
2.2.2	Arquitetura BDI	30
2.2.3	Simulação Baseada em Multiagente	31
2.3	Jogos de Papéis	33
2.4	MABS e RPG na Gestão de Recursos Naturais	34
2.5	Trabalhos Relacionados	36
2.6	Considerações Finais	40
3	REFERENCIAL TECNOLÓGICO	41
3.1	JaCaMo	41
3.2	CORMAS	44
3.3	GAMA	46
3.4	Considerações Finais	48
4	O MODELO ORGANIZACIONAL	50
4.1	O Jogo Gorim	50
4.2	A Modelagem da Organização	60
4.2.1	Especificação Estrutural	62
4.2.2	Especificação Funcional	64
4.2.3	Especificação Deontica	70
4.3	Considerações Finais	74
5	OS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO	75
5.1	Varredura da Organização	75
5.2	Cenário 1: Grupo dos Reguladores	80
5.3	Cenário 2: Grupo dos Fiscalizadores	84
5.4	Cenário 3: Grupo dos Produtores	89
5.5	Cenário 4: Propina	94
5.6	Considerações Finais	98
6	CONCLUSÕES	99

REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE A ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL DA ORGANIZAÇÃO	113
ANEXO A DIAGRAMAS DE SEQUÊNCIA DO JOGO DE RPG GORIM	128

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) torna-se cada vez mais popular em nossa sociedade visto a gama de aplicações desenvolvidas nos últimos anos em diversas áreas do conhecimento. Neste cenário, os Sistemas Multiagente (SMA) (SICHMAN; DEMAZEAU; BOISSIER, 1992) são vistos como uma possibilidade efetiva na busca de soluções para problemas complexos, propiciando flexibilidade e eficiência no desenvolvimento e modelagem de sistemas nas diversas áreas, tais como Gestão de Recursos Naturais, Ecologia, Biologia, Hidrologia ou Meio Ambiente.

Os modelos biológicos, assim como as interações sociais, servem de inspiração para o desenvolvimento de sistemas onde agentes inteligentes podem ser concebidos por meio de dispositivos de *hardware* e/ou *software* (ARTERO, 2009). Os agentes representados por estes equipamentos ou programas devem ter a capacidade de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre este por meio de atuadores (RUSSELL; NORVIG, 2013).

Para Alvares; Sichman (1997) e Bordini; Vieira; Moreira (2001), são inúmeros os benefícios da utilização de um SMA: i) rapidez na resolução de problemas, visto a inerência do processamento concorrente; ii) aumento da flexibilidade e escalabilidade através da conexão de vários sistemas; iii) aumento da capacidade de resposta a um determinado problema pelo fato de todos os recursos estarem localizados no mesmo ambiente; e, iv) a modularidade obtida mediante esta técnica.

O estudo de ecossistemas complexos e o gerenciamento de recursos naturais são tópicos abrangentes e pesquisados a vários anos. Juntamente a tais pesquisas, observam-se amplamente soluções utilizando SMA. Na França, o grupo CIRAD¹ (acrônimo do termo em francês, *La Recherche Agronomique pour le Développement*) desenvolve pesquisa agrícola e cooperação internacional neste domínio e inúmeros trabalhos foram publicados, tais como (BOUSQUET; LE PAGE; MÜLLER, 2002; BARRETEAU et al., 2004; LE et al., 2008; LE; PARK; VLEK, 2010; ADAMATTI; SICHMAN; COELHO, 2009; FAROLFI; MÜLLER; BONTÉ, 2010; GOURMELON et al., 2013; LE PAGE et al., 2014, 2016; LE PAGE; PERROTTON, 2018).

¹<http://www.cirad.fr/en>

Além de SMA, os jogos de papéis (RPG, acrônimo do termo em inglês, *Role-Playing Game*) é outra técnica aplicada nos estudos do CIRAD. Nos jogos de RPG, os jogadores interpretam um personagem desempenhando um papel e tomam decisões de acordo com este para alcançarem um determinado objetivo, seja este individual ou coletivo. A composição destes dois métodos resultou na metodologia ComMod (do inglês, *Approach Companion Modeling*), a qual visa uma abordagem de gestão participativa estimulando a negociação e o aprendizado coletivo entre os atores/agentes de determinado domínio (BARNAUD et al., 2010). Uma revisão sistemática da utilização conjunta das duas técnicas pode ser encontrada em (FARIAS et al., 2019) a qual auxiliou no estudo de caso deste Tese.

Neste contexto, observa-se que os SMA apresentam flexibilidade e aplicabilidade em um cenário onde é utilizado o RPG na gestão de recursos naturais. Desta forma, a presente Tese busca responder a seguinte questão de pesquisa: “*É possível propor uma modelagem a nível organizacional de agentes que possa reproduzir a complexidade de personagens e funcionalidades de um jogo do tipo RPG?*”.

Neste trabalho, a complexidade de personagens e funcionalidades refere-se às possíveis interações entre os agentes deste sistema e também às ações que emergem destas interações, diferentemente do conceito de complexidade de algoritmos. As ações realizadas pelos agentes dependem do tipo de estratégia adotada por cada um deles e ainda, pelas interações que estes decidem empreender no decorrer das partidas do jogo Gorim. Portanto, a complexidade deste tipo de organização está relacionada ao número de agentes envolvidos tanto em suas interações quanto em suas ações e, como controlar e coordenar esta organização de maneira que represente, o mais fielmente possível, o jogo de RPG Gorim.

O jogo de RPG Gorim, estudo de caso ao qual esta Tese faz referência, está em desenvolvimento no contexto de um Projeto de Pesquisa intitulado *Gestão Participativa de Recursos Hídricos Utilizando Jogos Computacionais e Sistemas Multiagentes*², trata-se de um RPG no âmbito da bacia hidrográfica São Gonçalo e Lagoa Mirim, onde os atores do cenário são considerados os agentes do sistema, bem como, sua estrutura, regras e recursos aplicados (LEITZKE et al., 2019; BORN et al., 2019).

A Figura 1 apresenta a visão geral do estudo de caso na qual a presente Tese está inserida. O Jogo RPG possui as versões de Mesa e Online. Inicialmente foi desenvolvida a modelagem do Jogo Gorim, definindo-se a estrutura e as regras do jogo a partir de diagramas UML, assim, tornando possível o entendimento do jogo por parte dos participantes através dos *cards* distribuídos a cada jogador. O motor do jogo, etapa do Jogo de Mesa, foi desenvolvido na linguagem de programação Java e realiza

²Projeto financiado pelo Programa de apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos Chamada N° 16/2017 - ANA/CAPES. <http://gprh.c3.furg.br/>

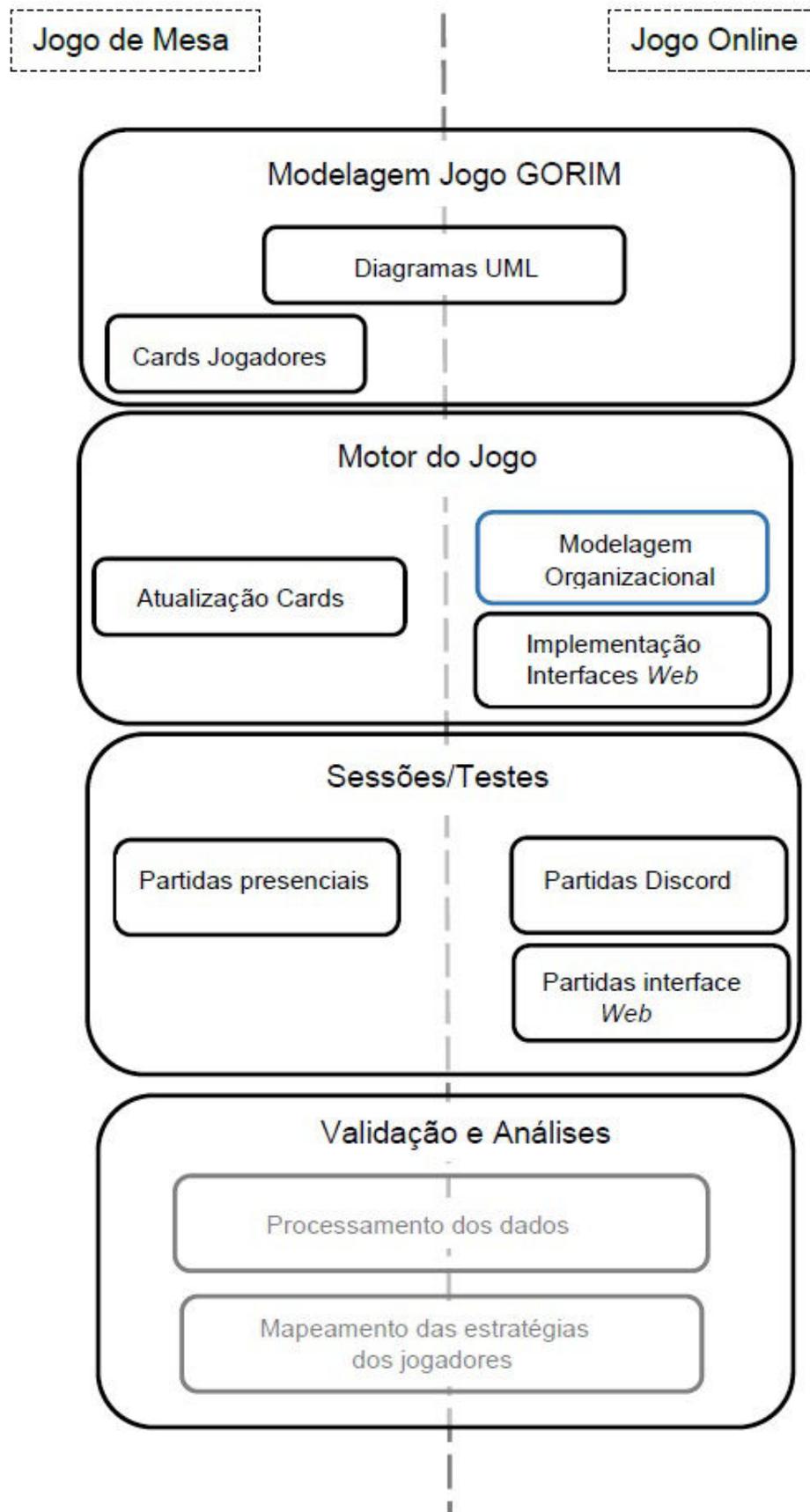


Figura 1 – Visão geral da Tese no contexto do estudo de caso.

os cálculos necessários aos jogadores. A partir deste cálculo ocorre a atualização dos *cards* de cada jogador.

A modelagem organizacional (foco desta Tese), na etapa de Jogo Online, foi definida a partir da estrutura do sistema do Jogo Gorim e de suas regras, assim, contemplando as ações dos agentes. Há, também, as interfaces *web* para que o jogo torne-se online (MARTINS, 2021).

Em sessões/testes, na versão Jogo de Mesa, ocorreram as partidas presenciais do Jogo Gorim no laboratório de pesquisa LAMSA/C3/FURG para que fosse possível avaliar a jogabilidade do RPG e o *feedback* dos jogadores para atualizações posteriores. Na versão Jogo Online, as partidas ocorreram na plataforma Discord³ seguindo os mesmos critérios da modalidade presencial e, posteriormente, em algumas partidas também utilizou-se a Interface *web*.

Em validação e análises, encontram-se outros estudos que estão sendo desenvolvidos no contexto do Projeto. Por exemplo, em Mota et al. (2020) analisaram-se os dados obtidos a partir das partidas do Jogo Gorim para o mapeamento das estratégias dos jogadores utilizadas nas partidas.

A plataforma de Sistemas Multiagente utilizada para a modelagem e implementação desta Tese foi a JaCaMo (BOISSIER et al., 2013), composta pela integração de Jason (BORDINI; HÜBNER; WOOLDRIDGE, 2007), CArTAgO (RICCI et al., 2009) e MOISE⁺ (HÜBNER; SICHTMAN; BOISSIER, 2002). A modelagem da organização foi desenvolvida em MOISE⁺ e a validação desta em JaCaMo. JaCaMo foi escolhido para o desenvolvimento desta modelagem pois é baseado na arquitetura BDI e futuramente integrará o motor do Jogo Gorim concebido em Java.

Contudo, a partir destas técnicas de IA, principalmente de SMA que é o foco desta Tese, motivaram este estudo que apresenta a modelagem de uma organização de sistema multiagente no âmbito dos recursos naturais, especificamente recursos hídricos, com um estudo de caso da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. A abordagem utilizada neste estudo foi a *top-down*, ou seja, começou-se pela modelagem da organização e esta é concebida na ferramenta MOISE⁺ (HÜBNER; SICHTMAN; BOISSIER, 2007), onde a organização do Jogo Gorim foi modelada e validada pela plataforma JaCaMo.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desta Tese é propor uma modelagem a nível organizacional de agentes do jogo tipo RPG Gorim que seja capaz de reproduzir a complexidade de seus personagens e suas funcionalidades.

Mais especificamente, esta Tese tem os seguintes objetivos:

³<http://discord.com/>

1. Modelagem descritiva do sistema multiagente, baseando-se no estudo de caso mencionado, com a descrição do sistema na ferramenta *MOISE⁺*, como as especificações estrutural, funcional e deôntica, bem como as regras e níveis de interação entre os agentes da organização.
2. Aplicação e estruturação da modelagem proposta na plataforma de programação multiagente JaCaMo.
3. Simulações de cenários hipotéticos, definidos no RPG Gorim, para viabilizar a comparação e a verificação da organização proposta.

1.2 Organização do Texto

O texto desta Tese está organizado como segue. No Capítulo 2 são abordados, resumidamente, os conceitos principais de Recursos Naturais e Recursos Hídricos. Ainda, conceitos e fundamentos importantes sobre Agentes e Sistemas Multiagente e Jogos de Papéis (RPGs). Aborda-se também um Modelo Baseado em Agentes e *Role-Playing Game* na Gestão de Recursos Naturais, os Trabalhos Relacionados em todo este contexto.

No Capítulo 3 são apresentadas algumas Ferramentas para Sistemas Multiagente e Modelos Baseados em Agentes, tais como: JaCaMo, CORMAS e GAMA. Apresentam-se as diferenças de cada uma destas ferramentas e o motivo pelo qual a plataforma JaCaMo foi escolhida para o desenvolvimento desta Tese.

No Capítulo 4 é apresentado o Modelo Organizacional Proposto desta Tese e o detalhamento do Jogo de RPG Gorim, estudo de caso deste trabalho. Ainda, são apresentadas a especificação da Modelagem da Organização do Sistema Multiagente no *MOISE⁺* e também a implementação na plataforma JaCaMo.

No Capítulo 5, são apresentados os Cenários de Avaliação do Modelo proposto desenvolvidos para a validação desta organização na plataforma JaCaMo. E, por fim, no Capítulo 6 discorre-se sobre as conclusões desta Tese, artigos publicados e continuidade do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este Capítulo tem o objetivo de abordar as três áreas do conhecimento relacionadas a esta Tese: i) recursos naturais, mais especificamente, os recursos hídricos, considerando o âmbito da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo; ii) os RPGs e suas aplicações em diversas áreas; e, iii) os SMAs juntamente com as ferramentas utilizadas em sua programação. Ainda, apresentam-se modelos baseados em agentes e RPG, e trabalhos relacionados que englobam estas áreas.

2.1 Recursos Naturais e Recursos Hídricos

Os Recursos Naturais compreendem os elementos da natureza aos quais os seres humanos utilizam para sua sobrevivência, e estes são classificados como: i) renováveis, sendo os recursos que possuem capacidade de renovação após seu uso como as florestas, água e solo; e, ii) os recursos não renováveis, os quais não possuem capacidade de renovação então, uma vez extraídos suas reservas diminuem, como o petróleo, ferro ou ouro (LIRA; CÂNDIDO, 2013).

Diante disso, o gerenciamento de recursos naturais é uma área que busca melhores formas de gerenciar terras, águas, plantas e animais, baseando-se na qualidade de vida da sociedade em geral no presente e para gerações futuras. Essa área ganhou visibilidade com a noção de desenvolvimento sustentável, causando uma mudança no entendimento e no comportamento da população e dos governantes. O gerenciamento dos recursos naturais foca especificamente no entendimento técnico científico de recursos e ecologia e como esses recursos podem dar suporte à vida animal (HOLZMAN, 2009).

Como menciona Alves; Freitas (2013), a globalização, a mudança nos padrões de consumo e a produção em larga escala contribuíram para o crescimento econômico e conseqüentemente melhores condições de vida à população. Entretanto, a falta de preocupação com as questões ambientais e o pensamento de que os recursos naturais eram inesgotáveis colaboraram para o processo de degradação destes recursos.

Portanto, considerando todos estes aspectos e a crescente demanda da população mundial, em algumas regiões, tais recursos tornam-se escassos e aliado ao mau uso, à falta de gerenciamento e, às vezes, o compartilhamento dos mesmos, acarretam sérios conflitos justificando assim a necessidade de gestão (FULLER et al., 2007; HOLZMAN, 2009). Ainda, alguns fatores como os interesses sociais, desenvolvimento socioeconômico e os instrumentos de gestão devem favorecer a interação entre o modelo de desenvolvimento estabelecido e a atuação sobre o meio ambiente, para que resultados ao menos satisfatórios sejam obtidos (ALVES; FREITAS, 2013).

De acordo com Fuller et al. (2007), observando-se pela perspectiva tecnológica, os desafios computacionais correlacionados ao gerenciamento de recursos naturais são: gerenciamento e comunicação de dados, análise de dados, e controle e otimização. Para resolver tais desafios, a utilização de ferramentas computacionais com técnicas de IA, entre elas sistemas multiagente, apresentam-se como uma boa solução, visto que as mesmas têm a flexibilidade necessária para tratar a dinâmica existente em recursos naturais (BORN et al., 2019).

A gestão dos recursos hídricos também é um dos principais desafios apresentados à sociedade na atualidade. Assim, o estudo, a análise e a elaboração de modelos de gestão tornam-se relevantes para a busca de possíveis soluções neste contexto. O Brasil dispõe de grandes bacias hidrográficas¹ em seu território, entretanto apresenta diversos tipos de conflitos relacionados à distribuição e compartilhamento do recurso (BRITO; LOPES; ANJOS NETA, 2020; BORN et al., 2019).

O desenvolvimento sustentável, no contexto dos recursos hídricos, abrange ações e medidas que buscam garantir padrões de quantidade e qualidade da água em determinada unidade de conservação, como é o caso da bacia hidrográfica. No decorrer do ciclo hidrológico a água sofre alterações na sua qualidade por diversas razões, como quando estes recursos são utilizados para suprimir as demandas de indústrias, agricultura e atividades humanas em geral (SETTI et al., 2001).

Para que seja possível elaborar uma proposta de desenvolvimento sustentável é preciso que haja um equilíbrio entre as questões sociais, econômicas, ambientais, éticas e culturais. Como bem menciona Vasconcelos (2016), os indicadores de sustentabilidade auxiliam nesta problemática, mostrando-se como uma importante ferramenta de mensuração uma vez que pode alertar sobre os problemas existentes.

Os modelos de indicadores de sustentabilidade tem o intuito de favorecer o gerenciamento de recursos hídricos nas bacias hidrográficas e localidades distintas. Para isso, torna-se necessária uma avaliação dos critérios de seleção de tais indicadores, dos parâmetros das análises, dos critérios das análises e a participação da população

¹Uma bacia hidrográfica caracteriza-se como áreas do território ou de uma determinada região constituída por um rio principal e seus afluentes que escoam para o mesmo curso d'água de forma a abastecê-lo.

local (SETTI et al., 2001).

Segundo Lira; Cândido (2013), diversos trabalhos demonstram a importância do gerenciamento dos recursos naturais os quais são de uso comum à sociedade, como o recurso hídrico, e portanto, a gestão participativa dos chamados atores sociais na tomada de decisão. Os autores abordam também a análise dos modelos de indicadores de sustentabilidade, como o processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas contribuem para este cenário e ainda, uma comparação entre modelos propostos promovendo assim reflexões pertinentes a esta temática.

No Brasil, foi criada a “Lei das águas” de número 9.433², de 08 de janeiro de 1997, constituindo a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Esta lei define as infrações e as penalidades e também criou o Sistema Nacional dos Recursos Hídricos (SINGERH). A presente legislação determina que a gestão destes recursos baseia-se em usos múltiplos e descentralizados.

A lei número 9.984³, de 17 de Julho de 2000, cria e regulamenta a Agência Nacional de Águas (ANA)⁴. Esta entidade realiza a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos e pelo gerenciamento do SINGERH. Algumas atribuições da ANA são a atuação na elaboração e implementação dos planos de recursos hídricos nas bacias hidrográficas oferecendo apoio técnico e o enquadramento dos corpos hídricos em classes assegurando assim a qualidade da água (ANA, 2019).

Considerando o âmbito nacional, os estados e o distrito federal possuem órgãos específicos para a realização do gerenciamento da água e estes constituem o SINGERH, atuando de maneira integrada e articulada com as demais entidades que compõem o sistema (ANA, 2019).

2.2 Agentes e Sistemas Multiagente

Um Sistema Multiagente é composto de diversos agentes interagindo em um ambiente onde existe o comportamento autônomo de cada um deles e, também, a interação e comunicação (WOOLDRIDGE, 2002).

Os modelos biológicos, assim como as interações sociais, servem de inspiração para o desenvolvimento de sistemas onde agentes inteligentes podem ser concebidos por meio de dispositivos de *hardware* e/ou *software* (ARTERO, 2009). Os agentes representados por estes equipamentos ou programas devem ter a capacidade de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre este por meio de atuadores (RUSSELL; NORVIG, 2013).

²http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm

³http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm

⁴<http://www.gov.br/ana/pt-br>

Segundo Nwana (1996), os agentes possuem três características importantes: *cooperar, aprender e agir de maneira autônoma*. Bordini; Vieira; Moreira (2001) ainda acrescentam coordenação, competição e negociação como aspectos relevantes na concepção de agentes.

A partir destas características, existem diferentes maneiras de classificar os agentes: reativos, cognitivos, colaborativos, de comunicação, aprendizado, entre outros (NWANA, 1996; ARTERO, 2009; COPPIN, 2013). Porém, da perspectiva do funcionamento interno dos agentes divide-se em (HÜBNER, 2003):

Agentes reativos: estes agentes reagem aos estímulos do ambiente, não possuindo qualquer tipo de histórico de suas ações, nem previsão de ações futuras e, desta forma, não conseguem antecipar e prever ações. Logo, os agentes percebem o ambiente a partir de sensores e reagem ao estímulo, escolhendo uma ação em um conjunto fixo de regras, por meio dos atuadores, conforme apresenta a Figura 2.



Figura 2 – Arquitetura proposta para agente reativo. Fonte: (RUSSELL; NORVIG, 2013).

Agentes cognitivos: este tipo de agente possui um estado mental que denomina-se o conhecimento do agente, ou seja, a representação das informações do mundo onde o agente está inserido (MORA, 1999). Este conhecimento é obtido pela sua percepção do ambiente e da comunicação com os demais agentes do sistema. A partir disso, o agente pode raciocinar com intuito de planejar suas ações para alcançar um determinado objetivo, como representa a Figura 3.

As propriedades, a arquitetura e a estrutura dos agentes, bem como o ambiente em que estes estão inseridos, são implementados de acordo com o problema a ser resolvido, a complexidade e o domínio específico de cada aplicação. Em Russell; Norvig (2013), Rezende (2005) e Luger (2013) são apresentadas diversas aplicações e algoritmos de forma a exemplificar a busca de soluções para esta demanda crescente de problemas.

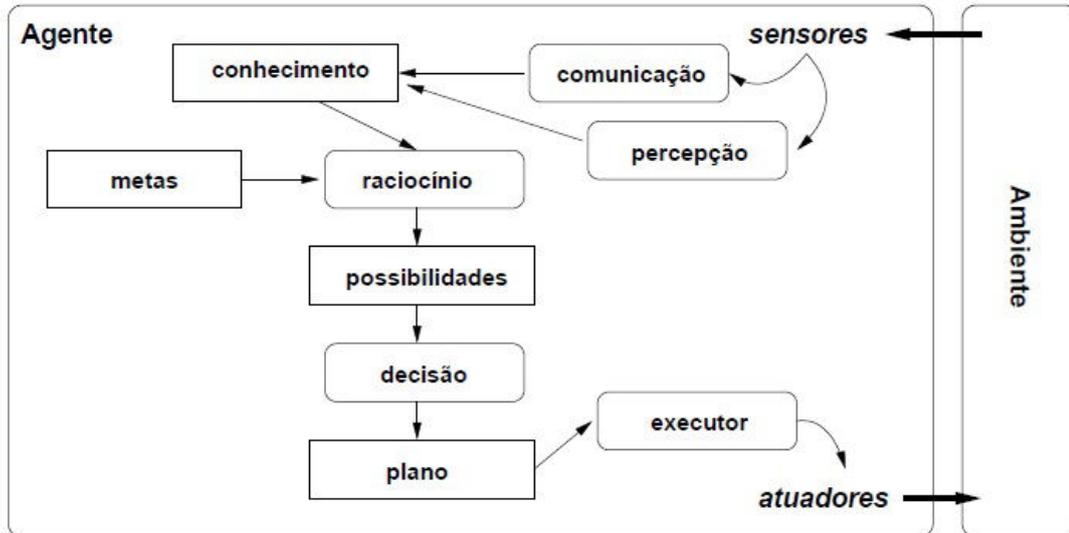


Figura 3 – Arquitetura proposta para agente cognitivo. Fonte: Adaptado de Demazeau; Müller (1990).

A estrutura de um SMA pode ser observada na Figura 4, onde os agentes pertencem a uma determinada organização, interagem uns com os outros, de forma a realizarem as tarefas de maneira cooperativa, compartilhando informações, buscando evitar conflitos e coordenando a execução das atividades e fazendo parte de um ambiente (ADAMATTI, 2007).

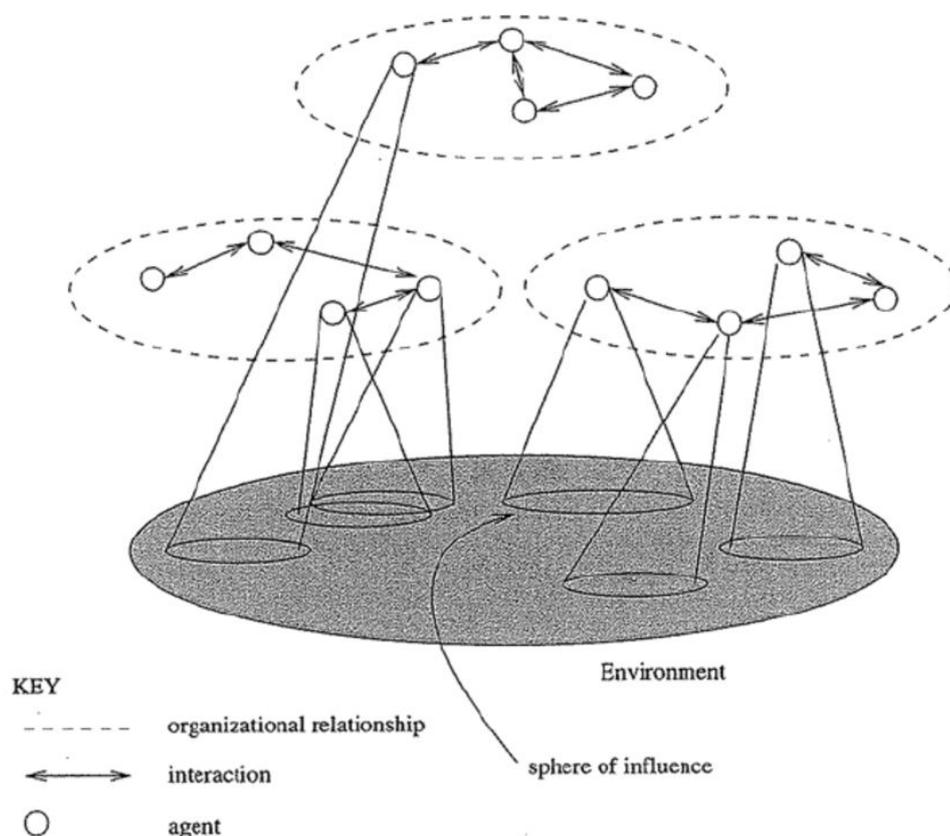


Figura 4 – Estrutura de um Sistema Multiagente. Fonte: (BORDINI; HÜBNER; WOOLDRIDGE, 2007).

2.2.1 Organização

Uma organização pode ser definida como a forma que um sistema dispõe para atingir determinados resultados, sendo que os indivíduos dessa organização desempenham funções de maneira controlada e determinada visando alcançar um objetivo em comum.

Na organização de agentes ou mesmo de um SMA, os agentes interagem em um ambiente de modo a atingirem um objetivo global. Este objetivo do sistema pode ser constituído por crenças, planos e intenções comuns aos agentes, então, a organização torna-se fundamental. Entretanto, para que esta organização seja efetiva, um conjunto de diretrizes deve ser definido e seguido pelos agentes do SMA, descrevendo assim uma política de interação entre estes (HÜBNER, 2003).

Embora o conceito de organização nos pareça claro, quando trata-se de conceitualizar a organização de um sistema, como um sistema multiagente, essa noção pode se tornar um pouco mais complexa. De acordo com Lemaître; Excelente (1998), existem dois pontos de vista principais em relação à organização dos agentes em um sistema: a visão centrada nos agentes e a visão centrada na organização.

A Figura 5(a), representa uma visão centrada nos agentes, cuja organização denomina-se observada e os agentes possuem apenas uma descrição subjetiva da organização, ou seja, o próprio agente constrói esta descrição observando como os demais agentes desse sistema se comportam nesta sociedade. Na Figura 5(b), a representação mostra uma visão centrada na organização, que denomina-se institucionalizada. O agente pode obter informações ou descrição a respeito da organização que tal sociedade adota e não apenas ser um observador do sistema (HÜBNER, 2003).

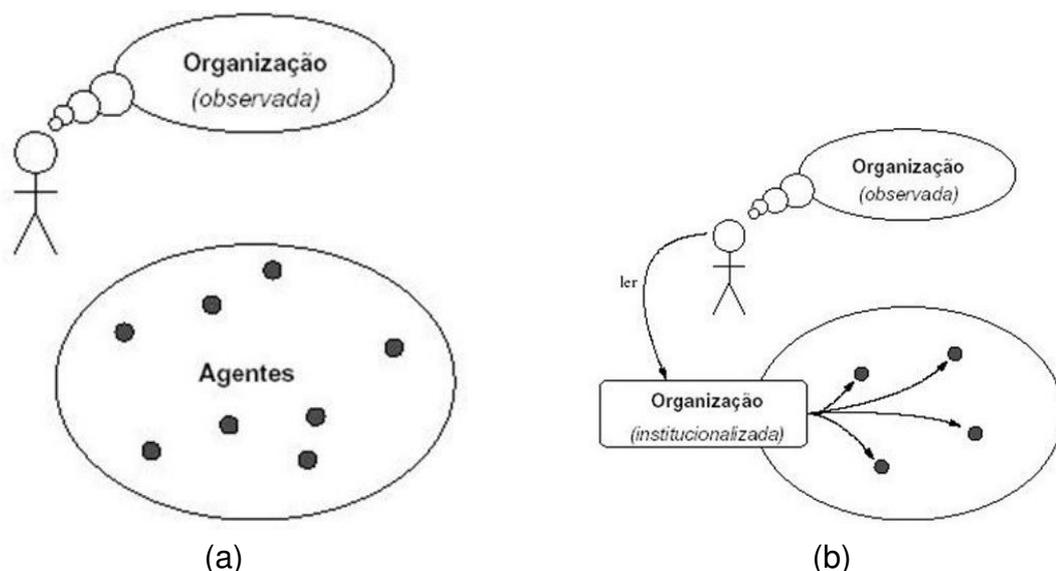


Figura 5 – Tipos de visão de uma organização SMA: (a) Visão centrada nos agentes e (b) Visão centrada na organização. Fonte: (HÜBNER, 2003).

Em Hübner (2003), o autor estende a classificação de organização, proposta por Lemaître; Excelente (1998), em quatro tipos:

- AR:** neste tipo de organização, a visão é centrada nos agentes e os mesmos não representam e também não possuem conhecimento sobre esta organização observada. Geralmente, este tipo de organização é composta por agentes reativos, ou seja, agentes simples que apenas reagem a alguma percepção do ambiente.
- AC:** neste tipo de visão, igualmente centrada nos agentes, estes conseguem representá-la e raciocinar sobre a organização observada. Assim, os agentes raciocinam sobre uma representação interna da organização baseados em percepção ou comunicação.
- OR:** diferentemente dos anteriores, a visão é centrada na organização e os agentes deste SMA não possuem capacidade de conceber a representação da organização. Os agentes não conseguem representar de forma objetiva a organização, porém há a descrição desta conhecida pela sociedade. Logo, o comportamento dos agentes é parcialmente determinado pela organização. Entretanto, como eles não possuem uma representação, não conseguem raciocinar sobre esta e por consequência, obter algum conhecimento que auxilie na realização de suas tarefas.
- OC:** neste caso, a visão também é centrada na organização, mas os agentes possuem a capacidade de conceber uma representação da organização. Sendo assim, os agentes conhecem a organização, parte de seu comportamento é determinado por esta, entendem como a mesma interfere no comportamento deles e dos outros agentes do sistema e com isso podem usufruir destas informações com intuito de melhorar seu funcionamento.

Em um SMA, a descrição de sua organização é construída a partir de modelos organizacionais (HÜBNER, 2003). Serão mencionados, nesta Tese, alguns dos modelos existentes para a modelagem de uma organização em SMA.

No modelo organizacional AALAADIN (FERBER; GUTKNECHT, 1998), a visão é centrada na organização, comumente utilizado em sociedades com tipo de organização OR e OC. Esta por sua vez possui um conjunto de grupos e cada um destes possui um conjunto de papéis e ainda um conjunto de agentes membros. Neste modelo, quanto à arquitetura interna dos agentes, é possível observar que um agente é uma entidade ativa e comunicativa, assumindo papéis dos grupos que o mesmo é membro (HÜBNER; SICHTMAN, 2003). Esta dinâmica pode ser verificada na Figura 6.

Ainda no modelo AALAADIN, os autores diferenciam o aspecto estático do aspecto dinâmico da organização. A estrutura organizacional, composta por grupos e

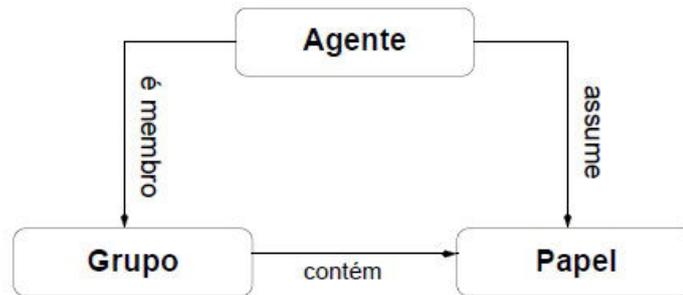


Figura 6 – Modelo organizacional AALAADIN. Fonte: (FERBER; GUTKNECHT, 1998).

papéis, é caracterizada como aspecto estático. O aspecto dinâmico de uma organização caracteriza-se pelo funcionamento desta sociedade, ou seja, quando os agentes entram em um grupo e assumem determinado papel (HÜBNER; SICHMAN, 2003).

Outro modelo de organização é o TOVE, proposto por Fox; Gruninger (1998). Na descrição do modelo nota-se um detalhamento de organização voltado para o contexto empresarial, sendo as entidades organização, papel e agente definidas, apresentado na Figura 7.

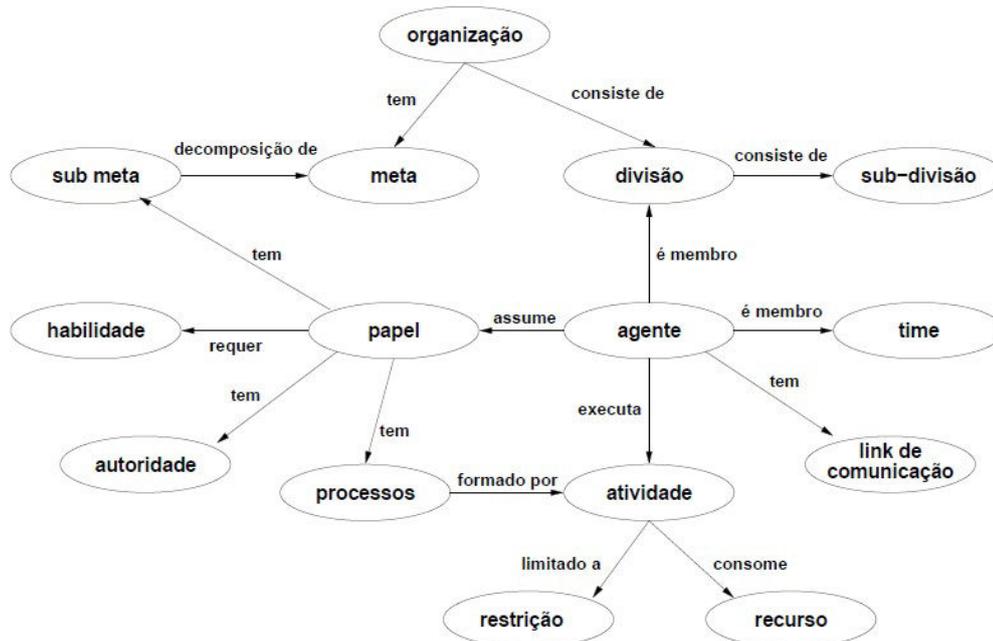


Figura 7 – Modelo organizacional TOVE. Fonte: (FOX; GRUNINGER, 1998).

A entidade *organização* é composta por diversas divisões e sub-divisões, sendo que agentes são alocados para estas divisões, bem como o conjunto de papéis que estes agentes podem assumir e o conjunto de metas. Protótipos de funções que serão cumpridas pelos agentes da organização são consideradas como *papéis*.

Duas características são importantes nos papéis, as propriedades associadas a estes e as relações existentes entre eles. Em relação às propriedades, cada papel possui: i) um conjunto de metas pertencentes ao papel; ii) um conjunto de processos que estabelece como as metas podem ser atingidas; iii) um conjunto de autoridades,

as quais são necessárias para que o agente consiga alcançar as metas; iv) um conjunto de habilidades que deve fazer parte do agente que assumirá tal papel; v) um conjunto de restrições para que os processos sejam executados; e, vi) um conjunto de recursos para que determinado papel seja desempenhado (HÜBNER; SICHMAN, 2003).

Ainda sobre as relações entre os papéis, este modelo organizacional, considera: i) hierarquia, ou seja, um papel pode ser subordinado de outro dentro da organização; e, ii) especialização, um papel pode especializar outro e com isso tem-se a herança, onde um papel herda, por exemplo, obrigações e direitos de outro.

Por fim, a entidade *Agente*, é membro de uma das divisões de determinada empresa. Este agente assume papéis e comunica-se com os demais agentes da empresa, desde que seja definida uma ligação de comunicação entre esses. Também realiza atividades e consumo de recursos (HÜBNER; SICHMAN, 2003).

O TAEMS (DECKER, 1996) (acrônimo do termo em inglês, *Task Analysis, Environment Modeling and Simulation*) é um modelo organizacional diferente dos anteriores, pois concentra-se no conceito de tarefa e não de papel. Sendo assim, o objetivo principal deste modelo é realizar a descrição da estrutura de uma tarefa, facilitando a análise e a simulação da organização (HÜBNER; SICHMAN, 2003). Do ponto de vista das tarefas, estas são classificadas em: objetiva, subjetiva e generativa.

Na visão objetiva é considerada toda a estrutura de tarefas, sendo que estas buscam a solução de um problema específico em determinado momento. Na visão subjetiva, os agentes que participam da execução da tarefa conseguem ver apenas parte dela, ou seja, aquela que a organização permite. E, a visão generativa, é composta pelas informações de geração de diversas visões objetivas e subjetivas dado o problema a ser resolvido (HÜBNER; SICHMAN, 2003).

Considerando ainda o modelo TAEMS, no que diz respeito à estrutura das tarefas, dois tipos de relações são utilizadas. Na relação de sub-tarefa é construída uma árvore que organiza as tarefas em níveis de abstração. Nesta árvore, as folhas são os métodos que os agentes conseguem executar e nos métodos, atributos como qualidade do resultado da execução e duração são ponderados. Outro tipo de relação é denominado NLE (acrônimo do termo em inglês, *non local effects*), que indica se determinada tarefa afeta de forma positiva ou negativa a qualidade de outra tarefa.

O modelo organizacional MOISE^+ proposto por Hübner; Sichman; Boissier (2002) e baseado no modelo MOISE (HANNOUN et al., 2000), foi desenvolvido para modelar uma organização SMA buscando o detalhamento de quais componentes formam esta organização e como estes contribuem para a sua finalidade. Assim, o MOISE^+ é dividido em três dimensões: estrutural, funcional e deôntica (HÜBNER; SICHMAN; BOISSIER, 2002).

Na especificação estrutural de uma organização são definidos os papéis, os grupos e as relações entre estes componentes. A especificação funcional determina como os objetivos/metapas, planos e missões serão alcançados pela organização. Já a especificação deontica especifica a obrigação ou permissão que determinado papel possui na organização. Contudo, o detalhamento do modelo *MOISE+* será descrito no Capítulo 3, visto que este foi utilizado na modelagem do jogo de RPG proposto nesta Tese.

2.2.2 Arquitetura BDI

No desenvolvimento de SMA, uma arquitetura comumente utilizada é a BDI (acrônimo do termo em inglês, *Beliefs, Desires e Intentions*), baseada em um modelo cognitivo que representam crenças, desejos e intenções (WOOLDRIDGE, 2002; HÜBNER; BORDINI; VIEIRA, 2004).

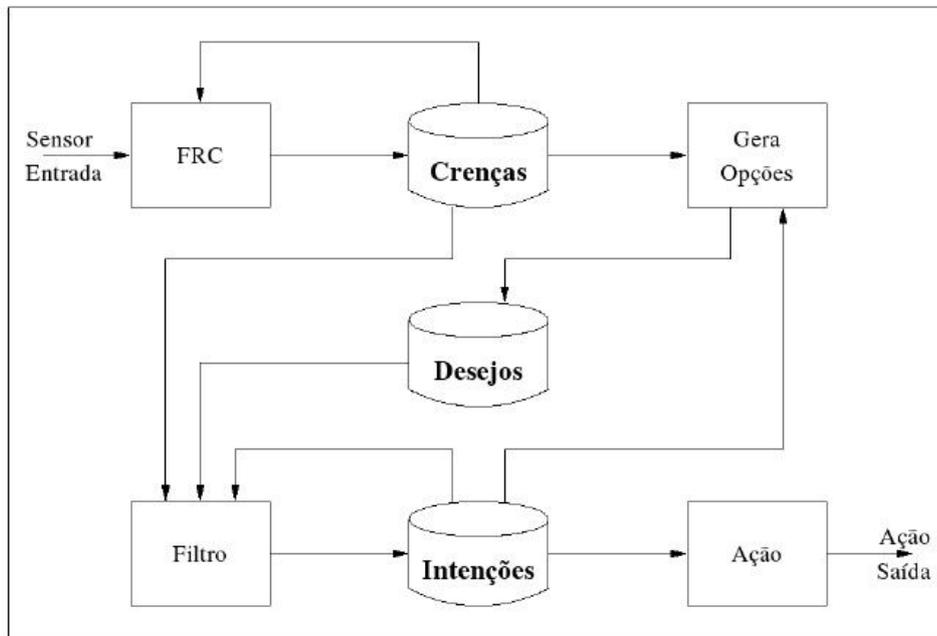


Figura 8 – Estrutura da arquitetura BDI genérica. Adaptado de Wooldridge (1999).

A Figura 8 apresenta a estrutura da arquitetura BDI genérica proposta por (WOOLDRIDGE, 1999), observando-se os seguintes elementos (FARIAS; DIMURO; COSTA, 2012):

Crenças: representam o que o agente sabe sobre si mesmo, dos demais agentes e do ambiente ao qual está inserido.

Desejos: representam os estados que o agente almeja atingir, geralmente são objetivos.

Intenções: são representadas pela sequência de ações que determinado agente executa para alcançar um objetivo.

Função de Revisão de Crenças (FRC): esta função recebe informações de entrada, por um sensor, logo após consulta a base de crenças que o agente possui e as atualiza de maneira a refletirem o novo estado do ambiente. A partir desta nova representação do estado do ambiente existe a possibilidade de que novos estados surjam como opção.

Gera Opções: nesta função, são determinadas as opções que se encontram disponíveis para o agente (desejos), tomando-se como base suas crenças, intenções atuais e também sobre o ambiente.

Filtro: na função filtro ocorre a atualização das intenções do agente, sendo estas baseadas nas crenças e desejos atualizados e em intenções existentes na base do agente.

Ação: após a atualização do conjunto de intenções do agente, na função ação é especificada qual ação seguinte será realizada no ambiente.

Para a implementação de agentes ditos “inteligentes” ou “racionais” uma das linguagens de programação utilizada é o *AgentSpeak(L)* (RAO, 1996). Esta linguagem baseia-se na programação lógica, fornecendo uma estrutura abstrata e eficaz na programação de agentes BDI. Quando um agente é criado em *AgentSpeak(L)* define-se em sua especificação um conjunto de crenças básicas e um conjunto de planos. Desta forma, a partir destas crenças, o agente tem o conhecimento mínimo necessário sobre os agentes e seu ambiente. O conjunto de planos exemplifica quais ações podem ou devem ser tomadas e como são realizadas (BORDINI; HÜBNER; WOOLDRIDGE, 2007).

A arquitetura BDI diferencia-se de outras arquiteturas para agentes cognitivos, tais como ACT-R (acrônimo do termo em inglês, *Adaptive Character of Thought*) (ANDERSON; SCHUNN, 2000), SOAR baseada na arquitetura GPS (acrônimo do termo em inglês, *General Problem Solver*) (LAIRD, 2006; ADAMATTI, 2007) e COGNET (acrônimo do termo em inglês, *COGNition as a NETwork of Tasks*) (ZACHARY; RYDER; HICINBOTHOM, 1998), pois apresenta uma estrutura bem definida com a linguagem de programação *AgentSpeak(L)* e um de seus interpretadores é o Jason. Ambos utilizados na implementação da organização na ferramenta MOISE⁺, proposta nesta Tese.

2.2.3 Simulação Baseada em Multiagente

A área de Simulação Baseada em Multiagentes (MABS – acrônimo do termo em inglês, *Multi-Agent-Based Simulation*) teve seu surgimento da combinação das tecnologias de Simulação e de Sistemas Multiagente. Diversas aplicações desenvolvidas em SMA buscam modelar e simular situações da realidade, em inúmeras áreas. Um

fenômeno real pode ser dividido em um conjunto de elementos e também suas interações, então, cada um destes elementos é considerado na modelagem como um agente e o modelo completo resulta da interação entre estes (FROZZA, 1997). Segundo Frozza (1997), quando modela-se determinado fenômeno em SMA, observa-se algumas etapas como:

- Decomposição deste fenômeno em um conjunto de elementos autônomos;
- Modelagem de cada elemento como um agente contendo este a definição de seu conhecimento, função, comportamento e modos de interação;
- Definição do ambiente onde os agentes irão interagir; e,
- Definição dos agentes que possuem capacidade de ação e comunicação.

Frozza (1997) ressalta a importância do caráter interdisciplinar de MABS percorrendo diferentes áreas do conhecimento e analisando teorias, terminologias, metodologias e pontos de vista distintos. Drogoul; Ferber (1994) elencam os objetivos de MABS, ponderando: testar e simular hipóteses a partir de comportamentos emergentes de determinada situação; construção de teorias que auxiliem na compreensão de fenômenos sociais, psico-sociais, entre outros; e, integração de teorias interdisciplinares numa mesma estrutura.

De acordo com Strack (1984), uma simulação divide-se em três etapas:

Modelagem: nesta etapa cria-se o modelo do fenômeno a ser estudado;

Experimento: aplicam-se variações sobre o modelo criado alterando parâmetros que possam exercer alguma influência no processo de resolução;

Validação: comparam-se os dados obtidos com o modelo criado e a realidade, a fim de analisar os resultados alcançados.

A Figura 9 representa as etapas do processo de simulação. Observando a partir da *realidade* a modelagem do problema é definida e, então, o modelo é criado. Para que o modelo seja criado, utiliza-se como base uma *teoria*. Após a concepção do modelo, a simulação é realizada e logo tem-se a avaliação deste. Na etapa de *avaliação do modelo* são utilizados os resultados atingidos pelo mesmo e as observações da realidade com intuito de realizar uma análise comparativa (ADAMATTI, 2011).

Sendo assim, os MABS possuem três objetivos importantes: i) testar hipóteses que emergem de comportamentos no nível macro baseado em interações no nível micro; ii) construir teorias que permitam a compreensão de fenômenos das diversas áreas do conhecimento que estabelecem relação entre comportamentos e estruturas; e, iii) integrar teorias parciais que contemplem distintas disciplinas, tais como psicologia cognitiva, sociologia e outras, em uma mesma estrutura (ADAMATTI, 2007).

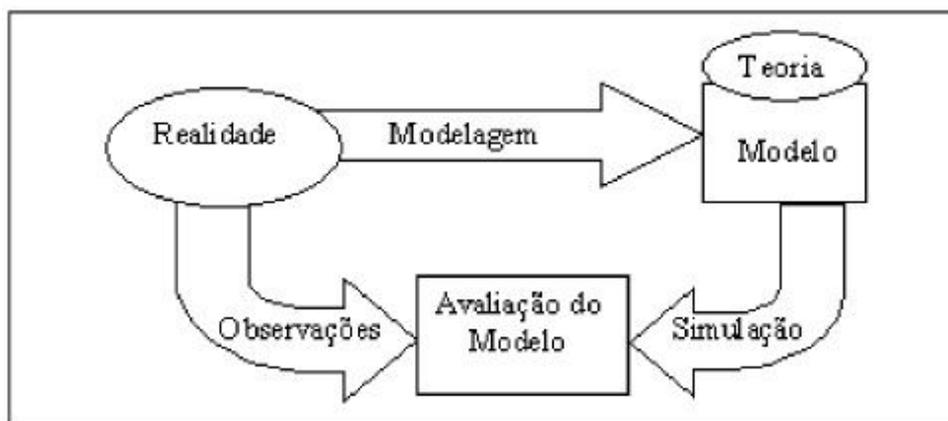


Figura 9 – Etapas do processo de simulação. Fonte: (ADAMATTI, 2011).

2.3 Jogos de Papéis

O conceito de “jogo” é bastante amplo e existem inúmeras definições. Segundo Huizinga (2019), o jogo é:

“Uma atividade voluntária exercida dentro de certos e determinados limites de tempo e espaço, segundo regras livremente consentidas, mas absolutamente obrigatórias, dotado de um fim em si mesmo, acompanhado de um sentimento de tensão e alegria e de uma consciência de ser diferente de vida cotidiana.”

Quanto a sua classificação, os jogos podem ser de competição esportiva, de tabuleiro, de cartas, de mesa, de dados, musicais, interativos, computacionais enfim uma grande variedade. Ainda, bem como menciona Adamatti (2007), e de acordo com a definição de (HUIZINGA, 2019), alguns elementos são importantes de serem observados quanto a caracterização dos jogos: i) os objetivos e regras são bem definidos; ii) a tomada de decisão deve ocorrer para que o jogo tenha continuidade; iii) um elemento conflito pode ser gerado pelas regras, de maneira a alcançar os objetivos estabelecidos no jogo; iv) os jogadores devem administrar os recursos do jogo, de maneira a atingir a meta na qual estão pensando para àquela jogada ou para as demais; v) os jogadores podem manipular os elementos do jogo (peças, cartas, etc.) de maneira que haja interação; e, vi) existe envolvimento dos jogadores, de forma que haja interação.

A IA e os jogos computacionais possuem longa colaboração no decorrer dos anos (ADAMATTI, 2007), sendo diversos trabalhos desenvolvidos nas mais variadas áreas e com êxito em seus resultados. Em (YANNAKAKIS; TOGELIUS, 2018), os autores apresentam a importância da utilização de técnicas de IA em jogos e, em contrapartida, como o desafio propostos nos jogos podem ser resolvidos por estas técnicas. Estes autores apresentam os principais métodos de IA, como pesquisa em árvore, aprendizagem supervisionada e não supervisionada, aprendizagem por reforço, algoritmos híbridos e computação evolutiva, aplicados a diferentes tipos de jogos como

jogos de tabuleiro e videogame.

Os Jogos de Papéis, especificamente os jogos computacionais nos quais se encaixam o contexto desta Tese, situam-se entre os jogos e o teatro onde a técnica utilizada baseia-se em regras pré-estabelecidas, no comportamento dos jogadores e em um contexto imaginário, ou seja, o ambiente do jogo (ADAMATTI, 2007). Os RPG são jogos onde os jogadores interpretam um personagem, ou seja, desempenham um papel e tomam decisões de acordo com este para alcançarem um determinado objetivo, sendo este individual ou coletivo. Segundo Barreteau et al. (2013), a experiência vivenciada pelos jogadores de um RPG pode ser vista como um “laboratório social”, onde estes experimentam distintas e diversas possibilidades, porém sem vivenciar de fato as consequências do mundo real.

O surgimento do primeiro RPG ocorreu nos EUA, no ano de 1974, intitulado “*Dungeons&Dragons*”, considerado o mais jogado no mundo, o seu ambiente era simulado na época medieval. Já no Brasil, os RPG surgiram em 1985 com a série “Aventuras Fantásticas” (CAMARGO, 2006). O RPG pode ser impresso, eletrônico ou oral e diferencia-se dos demais jogos pelo seu aspecto cooperativo, ou seja, os jogadores incorporam um personagem da história, seguindo regras específicas, tanto de aspecto coletivo como individual, para alcançar os objetivos (ADAMATTI, 2007).

Um ponto importante de ser observado é que os RPG proporcionam a integração dos jogadores, visto que este tipo de jogo é jogado em grupos. Assim, as articulações e estratégias pensadas e executadas em cada ação precisam da interação entre seus participantes, tornando-o mais divertido (ADAMATTI, 2007; HITCHENS; DRACHEN et al., 2009). Outro fator que o RPG introduz aos jogadores é o exercício da fantasia, o que proporciona um desenvolvimento mental e social ao ser humano, pois a troca de informações e experiências é contínua durante o processo (ADAMATTI, 2007). Desta forma, Pereira (2003) comenta que quando o RPG é bem direcionado e explorado, pode trazer um papel marcante para a sociedade.

Na literatura, a técnica de RPG é muito utilizada na educação, desde o ensino infantil até cursos de graduação e também por grandes empresas no treinamento de seus colaboradores. A parte lúdica viabilizada por esta técnica pode colocar os jogadores em situações de tomada de decisão semelhantes às reais, mas sem consequências efetivas. Além disso, o aprendizado sobre um assunto específico pode ser facilitado a partir dessa prática (ADAMATTI, 2007; CAMARGO, 2006).

2.4 MABS e RPG na Gestão de Recursos Naturais

Na literatura, diversos trabalhos utilizam SMA no contexto do gerenciamento de recursos naturais, bem como a integração de MABS e RPG, aplicados juntamente a outras ferramentas. Nesta Seção, descreve-se a abordagem ComMod, muito utilizada

em diversos estudos do grupo CIRAD e que integra MABS e RPG.

O grupo CIRAD desenvolve há algumas décadas pesquisas no âmbito da agricultura e cooperação internacional, com intuito de colaborar no desenvolvimento sustentável das regiões tropicais e mediterrâneas⁵. A partir desses estudos, desde os anos 2000 utilizam MABS e RPG buscando formas para enfrentar questões relacionadas a processos de decisão, propriedade comum, gestão participativa e coordenação entre os atores inseridos neste tipo de sistema. De acordo com o grupo, estas duas técnicas associadas favorecem o pensamento coletivo e o aprendizado interdisciplinar e também, auxiliam no reconhecimento e compreensão destes sistemas complexos. A partir destes aspectos surge então a abordagem chamada ComMod (acrônimo do termo em inglês, *Companion Modelling Approach*)⁶.

A abordagem de modelagem ComMod busca uma reflexão sobre um dado problema complexo pelas partes interessadas. O grande desafio dessa abordagem é o entendimento de um problema real vivenciado pelos atores envolvidos e então, a procura por soluções que contemplem o contexto especificado. Barreteau et al. (2013) citam os principais componentes que compreendem o processo de ComMod, como os protagonistas ou atores envolvidos, a sua organização temporal e tempo para o processo de trocas e discussões entre as partes interessadas. Posteriormente a este processo, ocorre a implementação do estudo de caso para que os atores possam validar o que foi proposto e desenvolvido.

A modelagem neste tipo de abordagem requer interação entre os indivíduos e o gerenciamento do recurso ou dos recursos naturais do meio. Desta forma, a técnica ComMod visa gerar uma reflexão coletiva entre os especialistas em determinado tema e os indivíduos que fazem parte deste sistema, trocando informações de maneira participativa (BARRETEAU et al., 2013). Durante o processo, os indivíduos adquirem novos conhecimentos relacionados ao problema e passam a ser considerados protagonistas no estudo de caso. E, através deste conhecimento construído no processo da técnica, quatro categorias foram criadas.

De acordo com Barreteau et al. (2013), as categorias são: i) *Leigo*, o conhecimento destes indivíduos sobre o sistema vem de sua experiência empírica do mundo, o qual não é necessariamente formalizado ou explicado; ii) *Pesquisador*, os indivíduos desta categoria possuem conhecimento acadêmico, organizado, fundamentado em experimentação e testes de estudo de caso e análises formalizadas; iii) *Técnico*, enquadra-se em conhecimento formalizado considerando um grande número de situações e dados técnicos especializados; e, iv) *Institucional*, referindo-se ao conhecimento político ou econômico do sistema, agrupando indivíduos que possuem conhecimento específico relacionados às questões de desenvolvimento e atividades de partes interessadas

⁵<http://www.cirad.fr/>

⁶<http://cormas.cirad.fr/ComMod/en/>

locais.

Um aspecto de grande importância mencionado pelo grupo CIRAD é o comprometimento com o tempo e a adaptabilidade ao projeto. A tomada de decisão sobre determinado problema pode levar um tempo expressivo e ser modificado ao longo do processo. Então, as ferramentas e as intervenções são realizadas e atualizadas constantemente baseadas no processo de tomada de decisão. E ainda, os participantes envolvidos no processo da ComMod podem elaborar perguntas com intuito de contribuir na construção de novos modelos para apoio a consulta e também às negociações (BARRETEAU et al., 2013).

2.5 Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos apresentam soluções interessantes sobre o gerenciamento de recursos naturais com técnicas de SMA e RPG. O RPG é bastante utilizado em estudos de caso que buscam uma solução compartilhada entre as partes interessadas de um sistema, sendo que esta abordagem auxilia na tomada de decisão (ADAMATTI, 2007). Além destas técnicas, diversas ferramentas e plataformas são usadas em aplicações de SMA, entre as quais pode-se citar CORMAS e GAMA (TAILLANDIER et al., 2018), amplamente difundidas em pesquisas realizadas pelo grupo CIRAD (LE PAGE et al., 2000; GAUDOU et al., 2014).

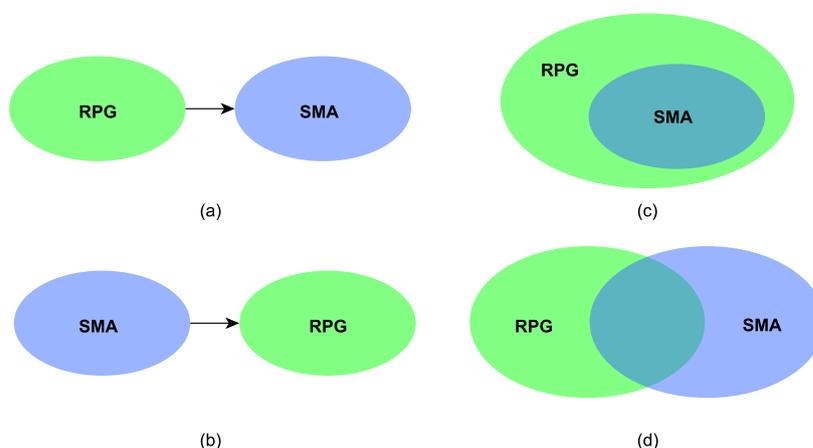


Figura 10 – Integrações entre RPG e SMA.

Em Farias et al. (2019) foi realizada uma revisão sistemática visando pesquisar os trabalhos existentes nas áreas de gestão de recursos naturais, sistemas multiagente e jogos de papéis. Este estudo apresentou quatro formas de integrar RPG e SMA⁷, conforme representado na Figura 10.

⁷Os componentes em verde em (a), (b) e (c) representam atividades em “papel”, ou seja, atividades que não são computacionais. No componente (d) todos os componentes são computacionais.

As quatro formas de integração entre RPG e SMA são descritas como segue:

- (a) **(RPG → SMA):** o RPG é jogado para os *stakeholders* (usando cartas e fichas em uma mesa) e, no final do jogo, todas as cartas são coletadas e as informações sobre o jogo são transformadas em uma simulação multiagente. Nesse tipo de integração, normalmente, o RPG é utilizado para coletar informações sobre o problema e como os *stakeholders* tomam suas decisões;
- (b) **(SMA → RPG):** o SMA é definido com base no conhecimento dos desenvolvedores. Logo, um RPG (com as mesmas ideias do SMA) é apresentado aos *stakeholders*, para validar a simulação;
- (c) **(RPG + SMA):** um RPG é desenvolvido, mas necessita de suporte computacional para ser executado, pois as regras e os cálculos do jogo são complexos. Nesta forma de integração, o RPG e o SMA trabalham juntos. Os *stakeholders* jogam o jogo usando cartas, mas todas as ações no jogo são processadas em uma simulação multiagente; e,
- (d) **(RPG ++ SMA):** esta forma de integração é única que as duas técnicas são computacionais. O RPG é desenvolvido como um software e todo cálculo é feito pela simulação multiagente. Nesse tipo de integração, se o RPG for desenvolvido para execução na Web, os *stakeholders* poderão jogar em locais remotos.

No trabalho de Adamatti; Sichman; Coelho (2009), os autores utilizaram a metodologia denominada GMABS, criada a partir da integração do RPG e SMA. Com base nesta metodologia foram desenvolvidos dois protótipos: o JogoMan que consiste em um jogo de papéis com um número mínimo de jogadores os quais devem estar fisicamente presentes em local e horário específico. No segundo protótipo chamado ViP-JogoMan, foi possível inserir jogadores virtuais que conseguissem reproduzir comportamentos reais e capturar autonomia, habilidades sociais, reação e adaptação de jogadores reais. Os jogadores virtuais foram modelados utilizando a arquitetura BDI e como conclusão do trabalho os autores apresentam alguns resultados de testes obtidos com os dois protótipos, bem como uma discussão preliminar sobre como a inserção de jogadores virtuais afetou os resultados do jogo.

Em Campo et al. (2009) são relatadas as experiências e lições aprendidas a partir da aplicação de um modelo baseado em agente para estudar as dinâmicas e interações complexas entre as partes interessadas no manejo florestal, gerenciadas por três vilarejos na Ilha Palawan (Filipinas). Neste modelo foi utilizada a abordagem ComMod. A conclusão obtida nesta pesquisa foi que o uso de RPG e a simulação multiagente permitiram aos pesquisadores entender como os atores envolvidos agem em relação à tomada de decisão sobre um ambiente controlado e também como elaboram estratégias de gerenciamento de recursos.

No trabalho de Farolfi; Müller; Bonté (2010), os autores apresentam um modelo multiagente criado a partir da abordagem ComMod do Vale do Rio Kat, Cabo Oriental, África do Sul. Este SMA foi denominado KatAWARE e, neste trabalho, o objetivo foi propor uma metodologia detalhada para formalizar e sistematizar as fases de modelagem desta abordagem. No contexto, o estudo de caso foi a bacia hidrográfica de Kat River e a especificação da estrutura do sistema e sua dinâmica foi representada em diagramas baseados em UML (do inglês, *Unified Modeling Language*). Dessa forma, o trabalho apresentou o processo de desenvolvimento da ferramenta KatAWARE, em três versões consecutivas e melhoradas com o objetivo de agregar as inúmeras fontes de conhecimento e dados, desenvolvendo um plano de manejo coletivo. As informações obtidas em cada sessão de RPG deram suporte aos cenários das simulações. E assim, o RPG provou ser uma ferramenta facilitadora nessas discussões, onde a implementação e as simulações foram importantes para explorar cenários e discutir resultados.

O trabalho de Ruankaew et al. (2010) apresenta aspectos teóricos e experimentais da abordagem ComMod, utilizando como experimento o conflito entre duas comunidades étnicas e um parque nacional no norte da Tailândia. Nas sessões de RPG, foram discutidas questões fundamentais sobre desmatamento, conservação da biodiversidade e meios de subsistência da comunidade, e a partir disso, a informação foi representada em um simulador multiagente. A conclusão desta pesquisa mostrou que as interações colaborativas entre pesquisadores e partes interessadas aumentaram a comunicação e a aprendizagem coletiva, melhorando a gestão integrada do desenvolvimento sustentável de recursos renováveis.

Em Souchère et al. (2010), os autores propõem a criação de um RPG, baseado na abordagem ComMod, para facilitar a negociação sobre o gerenciamento de escoamento erosivo. O “Thegame” foi organizado em duas sessões, com dois diferentes comitês de gestão de bacias hidrográficas em Pays de Caux (França), com o objetivo de discutir e compartilhar conhecimentos sobre o meio ambiente e as partes interessadas. As informações obtidas durante as sessões de RPG forneceram suporte às simulações. Nos resultados relatados pelos autores, apesar da complexidade inerente do problema de gestão, o grupo de jogadores conseguiu reduzir o fluxo de erosão em 20% a 50% através de um diálogo sobre pastagens, estocagem e gestão do período de entressafra.

O trabalho de Gourmelon et al. (2013) apresenta as mudanças no uso da terra na ilha de Ushan, que faz parte do Parque Natural Regional de Armorique na França. Essa região sofreu deslizamentos de terra, resultando em consequências na paisagem, atividades tradicionais e biodiversidade. A partir da abordagem ComMod, os pesquisadores, juntamente com o gerente da reserva da biosfera e o Centro de Estudos do Milieud, realizaram um estudo sobre as interações entre as dinâmicas sociais

e ambientais nesta ilha protegida. Os objetivos do trabalho foram: a concepção de um modelo, a implementação de um SMA geográfico e o desenho de um jogo de RPG, para auxiliar na tomada de decisão das partes interessadas, no manejo sustentável do uso da terra, e na sinergia com as políticas de gestão local. O SMA foi desenvolvido com base no método ARDI e projetado e implementado na plataforma CORMAS no qual foi refinado e validado em quatro etapas da discussão. Sessões de RPG foram realizadas com indivíduos envolvidos no projeto. Ao final de cada rodada do jogo, o SMA fornecia mapas, dados estatísticos e simulações em 2D e 3D que viabilizava as mudanças de terra induzidas pelas ações dos jogadores. Discussões foram realizadas após as sessões onde as partes envolvidas tiveram um olhar crítico e compararam os resultados do jogo à realidade.

No trabalho de Le page et al. (2014) é desenvolvida a modelagem de um SMA para investigar as interações entre a disponibilidade de água, terra e a migração de mão-de-obra na produção de arroz, a partir do conhecimento prévio de um grupo de produtores do nordeste da Tailândia. Em primeiro lugar, famílias agrícolas jogaram um RPG para descobrir a dinâmica do ambiente e melhorar as novas sessões de jogo, e depois, para desenvolver o SMA. Como resultado, os autores concluíram que esse modelo é uma ferramenta de comunicação que pode ser usada por cientistas locais e agricultores e foi desenvolvida para trocar e gerar conhecimento sobre as interações do uso de água e terra, e migração laboral.

Na pesquisa apresentada em Rebaudo et al. (2014), os autores analisam a disseminação de informações sobre o Manejo Integrado de Pragas (MIP) em comunidades de pequenos agricultores andinos, no Peru. Os pesquisadores desenharam um SMA do sistema agrícola andino e então, desenvolveram o RPG como modelo de papéis. O jogo foi testado com 90 agricultores de batata sendo estes de seis comunidades em três países. Após as sessões de RPG, os pesquisadores realizaram entrevistas com os agricultores e concluíram que o RPG baseado em SMA é uma ferramenta que pode ser usada para o ensino e a disseminação de informações do MIP, o que permite reduzir a vulnerabilidade aos riscos de pragas na região.

O trabalho de Le page et al. (2016) apresenta o jogo ReHab. É um jogo baseado em RPG usado para introduzir as principais ideias de gestão natural para os alunos nos primeiros anos de um curso de pós-graduação na área. O objetivo principal do jogo é encontrar o equilíbrio do ambiente e é dividido em duas fases: a primeira, onde os jogadores não podem comunicar-se com os colegas e devem escolher suas ações individualmente; a segunda, onde os estudantes comunicam-se com os colegas e tomam suas decisões sobre as ações do jogo. Todo o sistema é computacional e cada jogador joga em um computador. Os autores concluíram que um RPG bem projetado permite que os jogadores modelem, aprendam e reflitam sobre as respostas do sistema socioecológico de forma individual ou coletiva, considerando vários regimes de

gerenciamento.

A ideia do trabalho em *Le page*; Perrotton (2018) é propor uma nova abordagem para modelar uma simulação multiagente participativa, chamada KILT. Esta abordagem difere das abordagens KISS (do inglês, *Keep It Simple Stupid*) e KIDS (do inglês, *Keep it Descriptive Stupid*), bem conhecidas na literatura, porque as simulações podem ser estilizadas para os ecossistemas sociais e estimulam a aprendizagem social das partes interessadas, onde estas jogam em cartões e as ações são computadas em uma simulação multiagente. Os autores concluem que, com essa abordagem, o foco da interação pode ser definido nas interações do participante do computador (os participantes observam a simulação na forma de um público de cinema) ou nas interações participante-participante (os participantes podem intervir enquanto a simulação é executada ou em intervalos fornecidos durante a corrida).

Na Tabela 1 é apresentada uma síntese comparativa entre os trabalhos relacionados mencionados nesta Seção visando exemplificar de forma breve o objetivo geral do estudo e as metodologias aplicadas a cada um deles.

Tabela 1 – Síntese comparativa dos trabalhos relacionados.

Artigo/Ano	Objetivo	Metodologia	Ferramentas
Adamatti; Sichman; Coelho (2009)	qualidade dos recursos hídricos	RPG ++ SMA	CORMAS
Campo et al. (2009)	manejo florestal comunitário	RPG + SMA	CherIng ¹
Farolfi; Müller; Bonté (2010)	gestão de recursos hídricos	RPG → SMA	KatAWARE ²
Ruankaew et al. (2010)	gestão de recursos florestais	RPG → SMA	Simulador ABM ³
Souchère et al. (2010)	gestão de escoamento erosivo	RPG → SMA	SIG ⁴
Gourmelon et al. (2013)	gestão do uso da terra	RPG + SMA	CORMAS
Le page et al. (2014)	migração terra/água e trabalho	RPG → SMA	Simulador ABM
Rebaudo et al. (2014)	controle integrado de pragas	SMA → RPG	Simulador ABM
Le page et al. (2016)	conservação e gestão dos recursos naturais	RPG ++ SMA	CORMAS
Le page; Perrotton (2018)	coexistência entre populações humanas e vida selvagem	RPG + SMA	KILT ⁵

¹<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709002321>

²https://agritrop.cirad.fr/532704/1/document_532704.pdf

³<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13504500903481474>

⁴https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_6_3_blanchard.pdf

⁵https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-71679-4_3

2.6 Considerações Finais

Este Capítulo apresentou aspectos e conceitos gerais sobre as áreas pertinentes ao estudo deste Tese: Recursos Naturais e Hídricos, Agentes e SMA, e Jogos de Papéis. Para o entendimento do estudo de caso desta Tese, estas três áreas são muito relevantes pois, a fundamentação apresentada introduziu os aspectos teóricos envolvidos neste trabalho e também apresentou trabalhos realizados utilizando a mesma abordagem.

No Capítulo 3, a seguir, apresentam-se as ferramentas utilizadas na programação multiagente, sendo que CORMAS e GAMA são muito difundidas no âmbito da área de recursos naturais. A plataforma JaCaMo é muito utilizada para este tipo de programação e, principalmente, a ferramenta MOISE⁺ utilizada na modelagem da organização do SMA deste estudo.

3 REFERENCIAL TECNOLÓGICO

Neste Capítulo são apresentadas três plataformas que utilizam SMA, de maneira a facilitar a modelagem, a simulação e a implementação de agentes, relacionadas com esta Tese. JaCaMo é uma ferramenta de programação multiagente de uso geral. Já GAMA e CORMAS foram projetadas para o desenvolvimento de simulações na área de recursos naturais.

3.1 JaCaMo

O *framework* de programação multiagente JaCaMo (BOISSIER; HÜBNER; RICCI, 2016) tem sido desenvolvido ao longo dos anos e integra as plataformas: i) Jason, utilizado no desenvolvimento de agentes autônomos (BORDINI; HÜBNER; WOOLDRIDGE, 2007); ii) CArtaGo, aplicado no desenvolvimento de ambientes compartilhados (RICCI; PIUNTI; VIROLI, 2011); e, iii) MOISE⁺, desenvolvido para a modelagem de organizações multiagente (HÜBNER; SICHTMAN; BOISSIER, 2007). Assim, com esta integração proporciona-se aos desenvolvedores um *framework* completo e bastante consolidado para aplicações de SMA.

JaCaMo possui três dimensões (agente, ambiente e organização) com intuito de facilitar ao desenvolvedor a modelagem e a implementação de sistemas multiagente complexos (THOMASI, 2014). A partir desta integração, composta pelos agentes, ambiente, interação e organização, a plataforma oferece um recurso para a escalabilidade de aplicações complexas, permitindo assim sua distribuição em diversos nós. E ainda, cada uma das ferramentas que compõem a plataforma utiliza um conjunto de abstrações, modelo e meta-modelo próprios para a programação. O meta-modelo define as dependências, conexões e mapeamentos conceituais entre as três ferramentas que integram a plataforma (CASTRO et al., 2018).

Ainda, segundo Boissier; Hübner; Ricci (2016), JaCaMo é utilizado em diversas áreas, como aplicações de computação ambiental, gerenciamento inteligente de construções, ambientes virtuais inteligentes, gestão do conhecimento ou gerenciamento de crises.

O Jason é uma plataforma para o desenvolvimento de sistemas multiagente que incorpora uma linguagem de programação orientada a agentes que implementa e estende o AgentSpeak (L) (BORDINI; HÜBNER; WOOLDRIDGE, 2007; RAO, 1996). A linguagem AgentSpeak (L) baseada em lógica destina-se ao desenvolvimento de sistemas multiagente. Assim, os agentes em Jason são baseados no modelo BDI (BRATMAN; ISRAEL; POLLACK, 1988; RAO; GEORGE, 1995), representando os estados informativos, motivacionais e deliberativos do agente.

Um agente em Jason é uma entidade composta por: i) um conjunto de crenças (as informações do agente sobre o mundo); ii) um conjunto de objetivos/desejos (tarefas que o agente deseja alcançar); iii) um conjunto de intenções (o que o agente se compromete a fazer); e, iv) um conjunto de planos (um plano é um curso de ação que é acionado por um evento). Os eventos incluem a adição ou remoção de metas e mudanças na base de crenças do agente.

O CArAgO é um *framework* com infraestrutura para programação e execução de ambientes em sistemas multiagente baseados no metamodelo A&A (Agentes e Artefatos) (RICCI et al., 2009; OMICINI; RICCI; VIROLI, 2008). Nesse modelo, o ambiente pode ser projetado e programado como um conjunto dinâmico de entidades computacionais denominadas artefatos (que fornecem serviços aos agentes), coletados em espaços de trabalho, possivelmente distribuídos entre vários nós de uma rede. Um agente que usa a ação *focus* para focar em um artefato, recebe suas *propriedades observáveis* como percepções e é capaz de executar *operações* (ou seja, ações), disponibilizadas por esse artefato. A ideia subjacente é que seja utilizado como uma abstração de primeira classe para projetar o SMA, como uma camada computacional que encapsula funcionalidades e serviços que os agentes podem explorar em tempo de execução.

O MOISE⁺ é *framework* que implementa um modelo de programação para a dimensão organizacional (HÜBNER; SICHTMAN; BOISSIER, 2007). Essa abordagem inclui uma linguagem para a especificação da organização e infraestrutura do SMA, com suporte para mecanismos de raciocínio baseados na organização no nível do agente. A especificação é feita por meio de um arquivo XML, contendo três especificações diferentes: estrutural, funcional e normativa.

A programação multiagente emprega linguagem de programação que fornece abstração de programação de primeira classe. Desta maneira, mantém-se o nível de abstração coerente desde o *design* até o tempo de execução para que, a centralização da organização, do ambiente e dos recursos disponíveis, não fique limitada à interpretação do agente.

Conforme mencionado anteriormente, o JaCaMo possui as dimensões do agente, do ambiente e da organização (BOISSIER et al., 2020). Na **dimensão do agente** são agrupados conceitos e abstrações de programação com o intuito de definir a im-

plementação dos agentes do sistema. Portanto, neste caso a abstração chave é o agente. Este deve ser capaz de reagir a eventos de forma proativa buscando alcançar estados futuros do sistema e assim, satisfazendo objetivos específicos. A autonomia é uma característica importante nesta visão de forma que o agente deve ser projetado para raciocinar sobre o que pretende atingir, ou seja, os estados que almeja dadas as circunstâncias atuais do sistema.

Ademais um agente precisa: i) ser proativo, no sentido de tomar iniciativa sobre as ações que pode desempenhar para alcançar os objetivos que deseja; ii) reativo, ou seja, quando o agente percebe os eventos no ambiente e então deve ter a capacidade de adaptar seu comportamento; e, iii) a característica de habilidade social, podendo comunicar-se e cooperar com os outros agentes do sistema.

Na dimensão do agente, o conceito de *meta* é de extrema importância visto que propicia os meios de representação de algum dado estado que o agente deseja atingir. Considerando as características de autonomia e proatividade, torna-se significativo uma representação explícita dos objetivos de longo prazo. Ainda, para que se tenha um agente autônomo, este deve ser capaz de fazer escolhas racionais, sendo que o comportamento resultante que emerge de tais escolhas é guiado pelas crenças do agente. Estas *crenças* são obtidas a partir da percepção do estado do ambiente e da comunicação com os demais agentes do sistema (BOISSIER et al., 2020).

Na **dimensão do ambiente** definem-se os conceitos e abstrações para especificar a programação dos recursos que compõem o ambiente e seu compartilhamento entre os agentes do sistema. Na abstração do ambiente os agentes são situados no contexto de maneira que um conjunto de ações possa afetar o ambiente e expor estados observáveis que os agentes conseguem perceber.

Nesta dimensão tem-se o conceito de *workspace* ou espaço de trabalho no qual define-se regiões topológicas ou simbólicas do ambiente e o conjunto de *artefatos* pertencentes ao sistema. Os artefatos representam os recursos do ambiente real ou conceitual que, através de um conjunto específico de operações, os agentes podem utilizar para a execução de suas ações e ainda por propriedades que estes podem observar para obter suas crenças.

No ambiente, as entidades não possuem as características de serem autônomas e nem proativas. Os agentes podem alterar o estado do ambiente utilizando as operações nas instâncias dos artefatos e podem também observá-lo por meio das propriedades dos artefatos. A partir da especificação dos artefatos é possível modularizar o ambiente e assim o tornar dinâmico, sendo que estes podem ser criados e destruídos por agentes. Por intermédio dos artefatos é que o ambiente permite que uma camada de abstrações de *software* conceda suporte à interação do agente através de recursos compartilhados de forma controlada (implicitamente) (BOISSIER et al., 2020).

A **dimensão da organização** é responsável pelos conceitos e definições para a programação das relações entre os agentes, tarefas conjuntas e políticas de interação no ambiente. Logo, o conceito de organização define a estruturação, coordenação e regulação dos agentes que trabalharão em um dado ambiente.

As características de coordenação e regulação são muito importantes nessa visão. A primeira, relaciona o apoio ao trabalho dos agentes sendo que uns dependem dos outros para alcançar os objetivos, sejam estes individuais ou coletivos. A segunda, especifica como os agentes podem ou devem interagir, geralmente através da utilização de regras especificadas para o âmbito da aplicação em desenvolvimento. Com a programação da organização é permitido aos agentes raciocinar sobre as relações e as tarefas conjuntas a fim de decidirem sobre sua própria adaptação e o cumprimento ou não de restrições definidas a priori.

Na dimensão da organização de um SMA, o conceito de *grupo* fornece a estrutura social do sistema, sendo que esta auxilia na definição do comportamento coordenado esperado para o sistema e quais são os direitos e deveres que os agentes devem cumprir. A partir do grupo definido são especificados os *papéis* pertencentes a este, as relações e as interações que podem ocorrer dentro do grupo. As *normas* expressam os direitos e deveres dos papéis e o comportamento a partir destes representa as metas organizacionais utilizadas nos *planos*. Estes planos são decompostos em árvores de metas que contém nos esquemas sociais e sob responsabilidade de cada grupo. No momento que uma organização é inserida em uma sociedade de agentes, estes desempenham os papéis nela contidos e trabalham juntos para atingir um ou mais objetivos da organização, cumprindo então as normas designadas para os papéis do(s) grupo(s) (BOISSIER et al., 2020).

3.2 CORMAS

CORMAS é uma plataforma para desenvolvimento de sistemas multiagente voltada especificamente para a simulação de recursos naturais. Foi desenvolvida pela equipe do CIRAD, baseada na linguagem de programação orientada a objetos Small-Talk, pode ser executada em diversos sistemas operacionais. A representação dos agentes nesta plataforma é a partir de um *grid* espacial sendo que, os agentes podem estar ou não localizados em alguma posição do mesmo (ADAMATTI, 2007). Nesta ferramenta, como apontado em Adamatti (2007), a localização espacial é uma importante característica para a área de gestão de recursos naturais, pois há certa facilidade na descrição de dinâmicas naturais e, também, existe uma relação entre a modelagem das ações dos agentes do processo, ou seja, os atores visto sob a perspectiva social e o gerenciamento da unidade física.

Conforme afirmam Le page et al. (2000), CORMAS viabiliza um conjunto de heurísticas para que os pesquisadores e os envolvidos em determinado cenário possam pensar a respeito do gerenciamento de recursos naturais de uma maneira descentralizada e distribuída. Com isso, a ferramenta fornece uma estrutura que auxilia os diferentes atores a desenvolver sua maneira de pensar sobre uma problemática. Então, os envolvidos criam seus modelos de uma forma simples considerando que a flexibilidade é um aspecto relevante e o fornecimento de determinadas funcionalidades ajudam na definição de ambientes realistas.

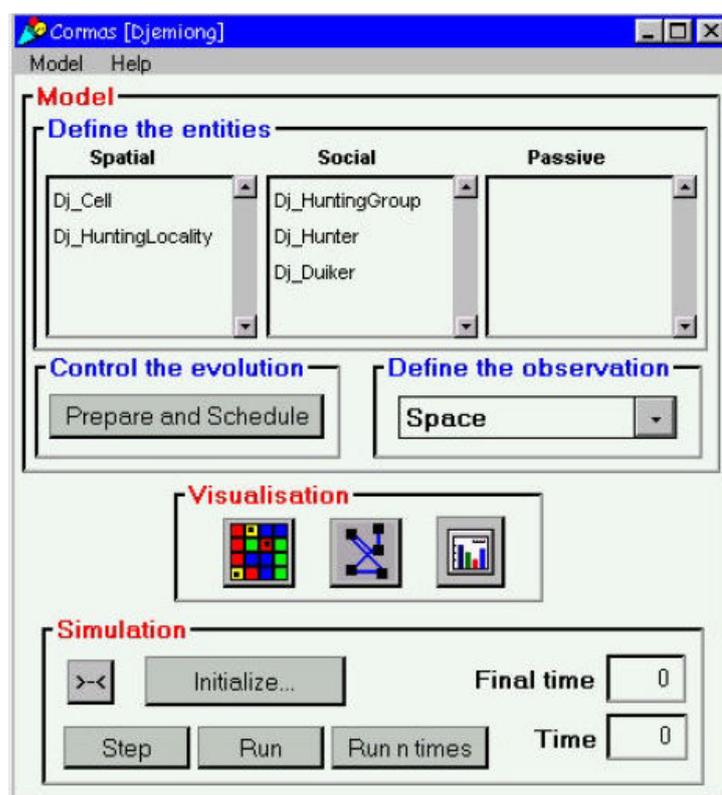


Figura 11 – Interface da plataforma CORMAS. Fonte: (LE PAGE et al., 2000).

A interface principal da plataforma CORMAS, representada na Figura 11, consiste de um ambiente de programação para a concepção de modelos de simulação, considerando que ocorre a coordenação entre indivíduos e grupos que interagem conjuntamente na exploração de recursos¹. CORMAS divide-se em três módulos principais (LE PAGE et al., 2000):

Define the entities: este módulo permite a definição das entidades do sistema as quais serão modeladas, ou seja, os agentes e suas interações. A interação entre estes agentes ocorre por envio de mensagem ou pelo compartilhamento do aspecto espacial.

¹<http://cormas.cirad.fr/en/outil/present.htm>

Control the evolution and Define the observation: este módulo é responsável pelo controle da dinâmica geral do sistema, ou seja, onde ocorre a ordenação dos diferentes eventos no período de tempo especificado para o modelo.

Simulation and Visualization: este módulo consiste na definição da observação da simulação sob diferentes aspectos e também na integração de modos de representação no processo de modelagem.

Bousquet (2005) apresenta diversos trabalhos em uma vasta pesquisa na Ásia, buscando por metodologias para a gestão integrada e coletiva de recursos naturais. Uma das abordagens utilizadas foi a ComMod, onde foi possível o desenvolvimento de modelos de simulação e a integração de ideias/pontos de vista de diversos agentes (*stakeholders*) e assim, utilizá-los em plataformas de aprendizagem coletiva. As pesquisas desenvolvidas incluem estudos divididos em quatro partes: i) o processo de modelagem: da realidade ao modelo conceitual; ii) modelos e jogos de RPG; iii) simulações multiagente; e, iv) Processos de aprendizagem. Alguns destes trabalhos foram apresentados na Seção 2.5.

3.3 GAMA

A plataforma GAMA² é um ambiente de desenvolvimento integrado completo que permite alternar de forma rápida e prática entre perspectivas de modelagem e simulação. GAMA é baseada na IDE (acrônimo do termo em inglês, *Integrated Development Environment*) do Eclipse, utilizando os diversos recursos presentes neste ambiente de desenvolvimento e é desenvolvida por várias equipes da UMMISCO (acrônimo do termo em francês, *Unité de Modélisation Mathématique et Informatique des Systèmes Complexes*), do IRD (do francês, *Institut de Recherche pour le Développement*) e da UPMC (do francês, *Université Pierre et Marie Curie*), como um projeto de código aberto, desde o ano de 2007.

Segundo Taillandier et al. (2018), a plataforma tem por objetivo fornecer ferramentas para desenvolver e testar modelos complexos por meio da integração entre programação baseada em agentes, gerenciamento de dados geográficos, ferramentas de visualização flexíveis e representação em vários níveis (TAILLANDIER et al., 2012; DROGOUL et al., 2013). GAMA fornece uma linguagem de modelagem completa GAML (acrônimo do termo em inglês, *GAmA Modeling Language*) e um ambiente de desenvolvimento integrado que permite formular e construir modelos de forma tão rápida e fácil quanto o NetLogo (TISUE; WILENSKY, 2004), o Repast (do inglês, *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit*) (NORTH; COLLIER; VOS, 2006) ou o Mason (do inglês, *Multi-Agent Simulator Of Neighborhoods*) (LUKE et al., 2005).

²<http://gama-platform.github.io/>

A plataforma apresenta um editor que visa facilitar o trabalho de modelagem e desenvolvimento do usuário (apresentado na Figura 12), contendo ferramentas usuais de IDEs, tais como: coloração da sintaxe, compilação e preenchimento automáticos e a possibilidade de formatar ou comentar linhas de código específicas. Além disso, a IDE está conectada a uma extensa documentação online, permitindo aos usuários a obtenção de informações sobre as diversas palavras-chave, operadores e declarações disponíveis.

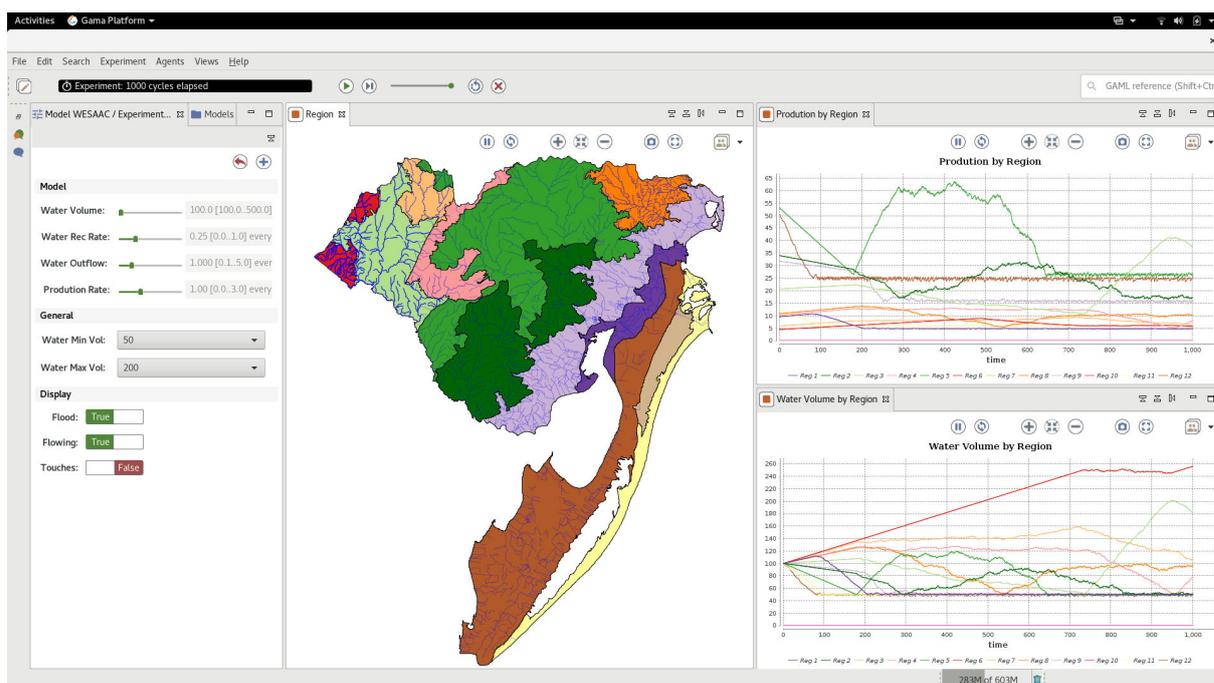


Figura 12 – Exemplo de aplicação na plataforma GAMA.

O ambiente de desenvolvimento integrado permite formular e construir modelos baseados em agentes a partir de diferentes conjuntos de dados, possuindo integração com sistemas de informações geográficas. Além disso, a flexibilidade de sua interface permite organizar os painéis de visualização com comandos simples de arrastar e soltar ou através de *layouts* predefinidos, apresentando uma ferramenta de inspeção/verificação de agentes, a qual permite obter informações sobre um ou vários agentes (visão tabular), e também possui um mecanismo de busca desenvolvido para a obtenção de informações e exemplos de uso dos diversos operadores presentes na plataforma.

A plataforma GAMA³ possui uma documentação vasta com diversos tutoriais com exemplos conhecidos em outras ferramentas para a programação de agentes, tais como Presa-Predador, Trânsito (mobilidade urbana), Modelos 3D, Modelo Luneray (modelo de doença que se espalha na pequena cidade de Luneray), Arquitetura BDI para que o desenvolvedor torna-se familiarizado e autônomo na utilização desta ferramenta (DROGOUL et al., 2013).

³<http://gama-platform.github.io/>

Na documentação do GAMA, no desenvolvimento de agentes BDI, o tutorial apresenta como definir os agentes dessa arquitetura, adicionar relações sociais entre estes, emoções na personalidade dos agentes e normas sociais com permissões e obrigações.

A Figura 12 representa a modelagem de um problema para o estudo de caso da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, onde observa-se que a plataforma GAMA permite lidar com dados geoespaciais e vetoriais de sistemas de informação geográfica. Neste estudo, o modelo de dados GIS representa uma base de dados georreferenciados no formato *shapefile*. Nesses arquivos encontram-se informações espaciais descritas em vetores (pontos, linhas e polígonos) para representar as regiões, capacidades de uso do solo e os rios presentes na bacia e, ainda, cada um desses itens possui atributos que o descrevem, como: nome, código, área, comprimento, etc.

Na plataforma GAMA se consegue separar esses itens em diferentes camadas temáticas e representá-los de forma independente, permitindo trabalhar com eles de modo rápido e simples. Deste modo, cada região, tipo de capacidade de uso do solo ou rio pode ser considerado um agente específico com suas próprias características e atributos. Como pode ser visualizado na Figura 12 foi acrescentado a cada região o atributo cor permitindo melhor visualização. A plataforma ainda permite ao usuário relacionar as informações existentes através da posição e topologia dos objetos, gerando assim novas informações (FARIAS et al., 2020).

Atualmente, GAMA é utilizada em vários modelos, como e, Nguyen vu et al. (2009) e Taillandier; Buard (2009) e, ainda, em projetos de sistemas ambientais de apoio a decisão (CHU et al., 2009), projetos urbanos (AMOUROUX et al., 2009), gerenciamento de recursos hídricos (THÉRON et al., 2014), invasões biológicas (AMOUROUX; DESVAUX; DROGOUL, 2008) e adaptação às mudanças climáticas ou mitigação de desastres (GAUDOU et al., 2014).

3.4 Considerações Finais

Este Capítulo apresentou aspectos referentes às ferramentas utilizadas para a programação de agentes e SMA. As ferramentas CORMAS e GAMA são utilizadas no âmbito da área de recursos naturais, por esse motivo foram estudadas no contexto deste estudo de caso por este se tratar de um sistema complexo. Essas duas ferramentas apresentam vantagens, pois fornecem suporte ao desenvolvimento de um sistema que une Recursos Naturais e SMA. CORMAS utiliza a abordagem ComMod a qual foi empregada parcialmente na definição do Jogo Gorim. GAMA também foi utilizada no estudo de caso com o intuito de representar informações georreferenciadas. Entretanto, por fornecer tais informações em suas simulações GAMA evidencia um custo computacional bastante elevado.

Desta forma, a plataforma JaCaMo foi escolhida para este estudo de Tese pois integra a ferramenta *MOISE⁺*, para a modelagem da organização do sistema SMA, Jogo Gorim, fornecendo as funcionalidade necessárias para esta modelagem. No Capítulo 4, a seguir, é apresentada o modelo organizacional proposto nesta Tese, bem como o detalhamento do Jogo Gorim e a modelagem da organização deste SMA na ferramenta *MOISE⁺*.

4 O MODELO ORGANIZACIONAL

Neste Capítulo são apresentados a modelagem do Jogo Gorim (Seção 4.1) e o modelo organizacional de agentes utilizando *MOISE*⁺ proposto nesta Tese (Seção 4.2) para o RPG desenvolvido.

4.1 O Jogo Gorim

O Jogo Gorim foi desenvolvido no âmbito do Projeto intitulado *Gestão Participativa dos Recursos Hídricos utilizando Jogos Computacionais e Sistemas Multiagente* financiado pela ANA/CAPES no Programa de apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos, do Edital Pró-Recursos Hídricos Chamada N° 16/2017.

O jogo possui como cenário as cidades de Atlantis e Cidadela (cidades fictícias que representam as cidades de Pelotas e Rio Grande/RS), as quais estão localizadas na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo. Este RPG baseia-se na dinâmica ambiental de alocação dos recursos naturais, neste caso mais especificamente o recurso hídrico, e a integração dos agentes envolvidos no sistema. O intuito do jogo é buscar o equilíbrio ambiental a partir do uso do recurso hídrico e as possíveis interações/negociações entre os atores do sistema.

Foram realizadas diversas sessões do jogo ao longo dos anos de 2018 e 2019 presencialmente nas dependências do prédio do Centro de Ciências Computacionais (C3)¹ da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e, em 2020 de forma online através do aplicativo Discord².

A Figura 13 representa o mapa do Jogo Gorim que corresponde a distribuição das parcelas de terra dos agricultores das cidades Atlantis e Cidadela e, também, a localização de cada uma das quatro empresas pertencentes ao jogo. As distintas cores das parcelas de terra representam as 6 (seis) parcelas correspondentes a cada agricultor.

¹<http://www.c3.furg.br>

²<http://www.discord.com/> – que possibilita ser utilizado em diversos sistemas operacionais e também por navegador web, suportando recursos como textos de bate-papo, voz e chamadas de vídeo

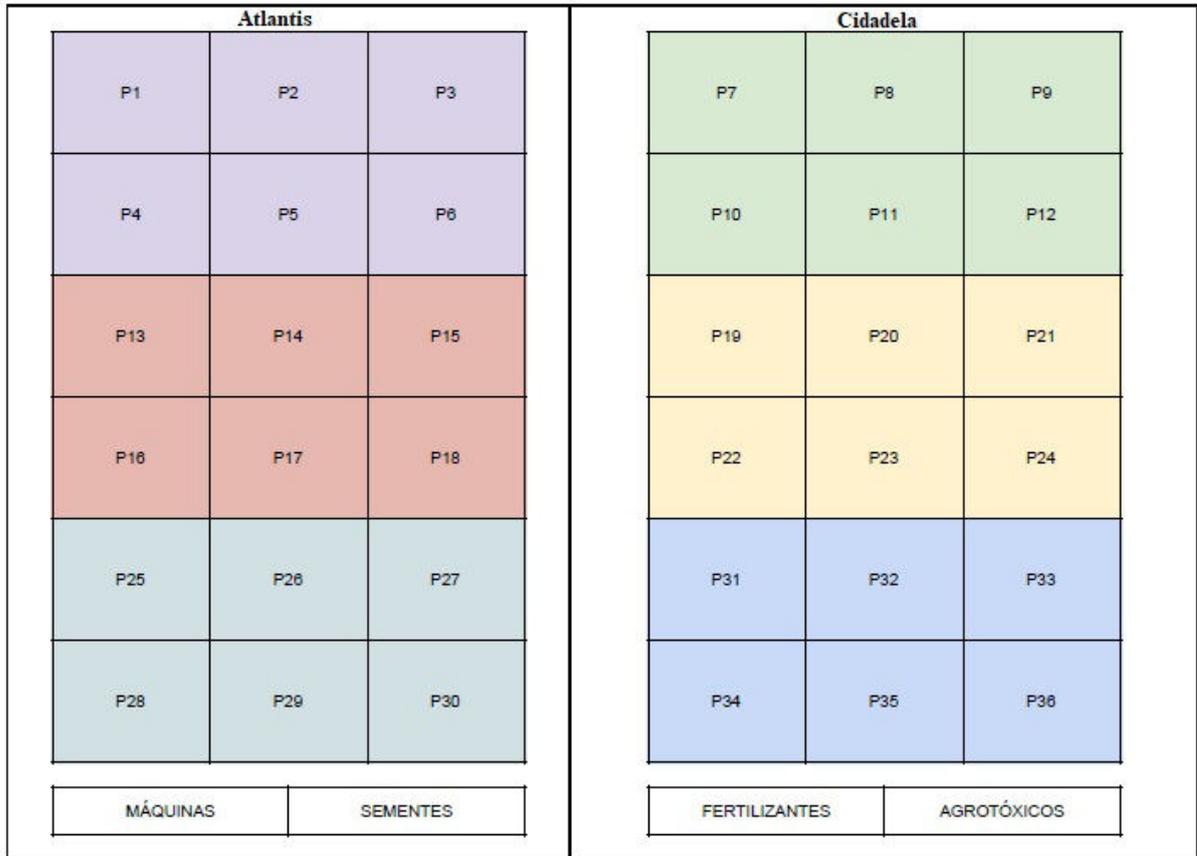


Figura 13 – Mapeamento das parcelas das cidades Atlantis e Cidadela.

A Figura 14 representa os níveis de poluição do mundo/ambiente do jogo e suas respectivas porcentagens e consequências.

Níveis de Poluição



Figura 14 – Representação dos níveis de poluição do ambiente.

O jogo começa com 20% de poluição, considerada a representação mínima de poluição, e termina com 100% de poluição máxima, considerado o colapso do sistema.

Estas informações são disponibilizadas aos jogadores no início de cada sessão do Jogo Gorim e atualizadas de acordo com a dinâmica do jogo. É importante salientar que os personagens são sorteados no início da partida e cada jogador recebe um bôton com a identificação de seu personagem no jogo. Cada jogador também conhece as parcelas correspondentes à sua propriedade e a localização de cada uma das empresas.

Outro aspecto relevante, deste jogo em específico, é que todos os personagens podem interagir entre si, sem qualquer restrição de comunicação. Cada sessão possui um tempo aproximado de três horas de duração devido à ampla interação entre os jogadores e suas negociações.

Aplicou-se também, na definição do Jogo Gorim, a abordagem ComMod com intuito de conhecer os personagens/atores envolvidos na dinâmica de negociação participativa de recursos hídricos da bacia. Inicialmente, a equipe do projeto, participou de reuniões do Comitê da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo³ buscando entender o papel deste comitê e como o mesmo articula o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

Conforme apresentado em (BORN et al., 2019), os personagens do Gorim estão divididos em três grupos: Reguladores, Fiscalizadores e Produtores. Os **Reguladores** são responsáveis por administrar os recursos financeiros, oriundos de impostos e taxas atrelados à sociedade, com o objetivo de controlar/mitigar a poluição (através da criação de leis, incentivos fiscais, obras para diminuir a poluição, etc.) sem prejudicar os mecanismos de produção. Os agentes reguladores assumem papéis de *prefeito* ou *vereador*, podem interagir/negociar entre si para decidir quais ações realizar no ambiente.

Os **Fiscalizadores** possuem como objetivo fiscalizar ou informar irregularidades atreladas à produção e exploração do ambiente. Os agentes fiscalizadores assumem os papéis de *fiscal ambiental* (por exemplo, FEPAM⁴ no RS) ou *ONG* (Organização Não-Governamental). O agente fiscal ambiental é o responsável por fiscalizar os demais agentes que pertencem ao grupo dos produtores, isto é, o fiscal pode, por exemplo, aplicar multas aos agentes produtores que forem pegos infringindo alguma lei/regra imposta pelos agentes reguladores. A ONG é responsável por informar aos agentes reguladores o estado atual dos níveis de poluição do ambiente, com o objetivo de conscientizar/pressionar os outros agentes a realizarem ações que diminuam os níveis de poluição. Entretanto, é importante salientar que definiu-se que a ONG é um NPC (acrônimo do termo em inglês, *Non Player Character*), ou seja, representa uma interface da situação atual do jogo que fornece informações sobre o ambiente.

³<http://www.comitemirim.org.br/Inicial>

⁴<http://www.fepam.rs.gov.br> – A Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler é a instituição responsável pelo licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul. Desde 1999, a FEPAM é vinculada à Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA).

Os **Produtores** são os agentes responsáveis por explorar o ambiente com o objetivo principal de obter recursos financeiros. São os maiores geradores de poluição e, conseqüentemente, de recursos financeiros no ambiente, podendo assumir os papéis de *empresário* ou *agricultor*. O empresário é responsável por disponibilizar equipamentos e insumos necessários para a produção. No entanto, o agricultor é responsável por utilizar os equipamentos e insumos que julgar mais adequado para a sua produção. Deste modo, a interação entre os agentes produtores ocorre através da compra/aluguel e venda de equipamentos e insumos, onde um agente agricultor pode comprar de um agente empresário e, conseqüentemente, um empresário pode vender/alugar a um agricultor.

Nas sessões do RPG Gorim, os personagens pertencentes ao jogo correspondem a um prefeito, um vereador e um fiscal ambiental em cada cidade. O número de agricultores são três e os empresários são dois, sendo o Empresário de Sementes e o Empresário de Máquinas localizados na cidade de Atlantis e, o Empresário de Fertilizantes e o Empresário de Agrotóxicos localizados em Cidadela, conforme representado na Figura 15.

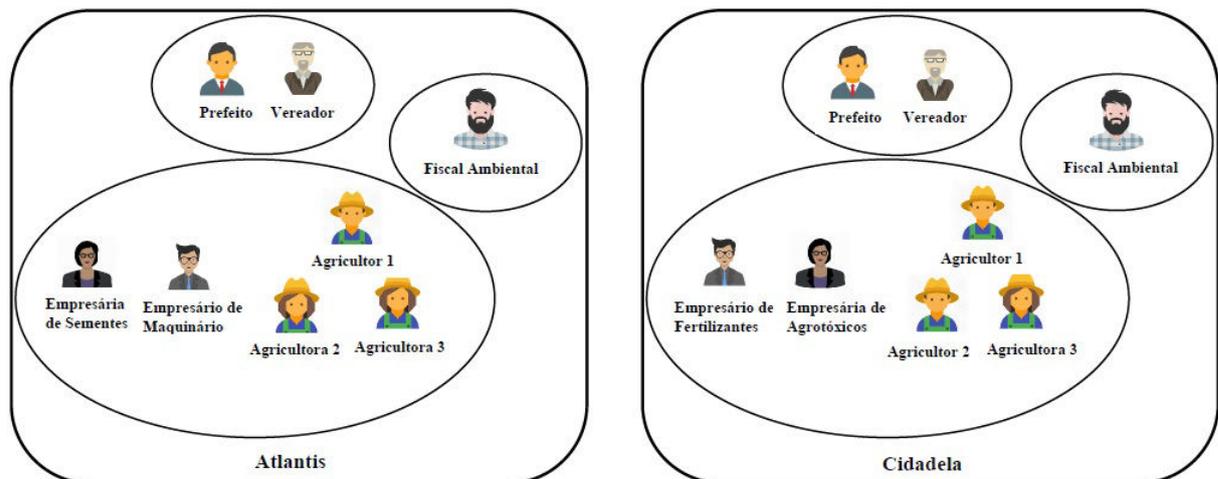
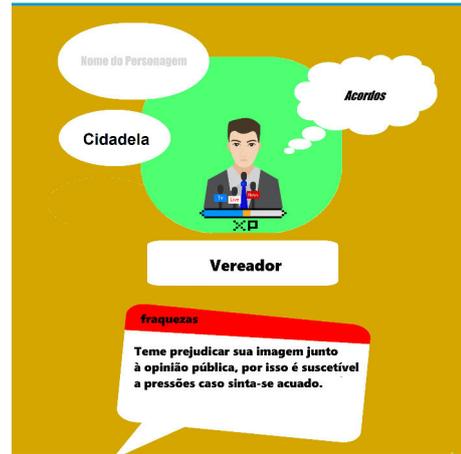


Figura 15 – Representação dos personagens em cada uma das cidades do Jogo Gorim.

As Figuras 16, 17 e 18 representam, respectivamente, dois personagens de cada grupo descrito. A distribuição de dois empresários para cada cidade foi assim definida com o intuito de equilibrar os recursos financeiros do jogo. A moeda monetária estabelecida no RPG denomina-se “dinheiros” e cada personagem possui algum valor em recurso financeiro, com exceção do vereador e do fiscal ambiental.

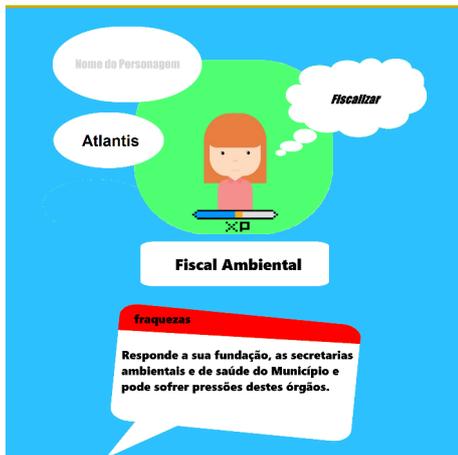


(a)



(b)

Figura 16 – Cartões dos personagens utilizados no RPG do grupo dos Reguladores: (a) Prefeito de Atlantis e (b) Vereador de Cidadela.

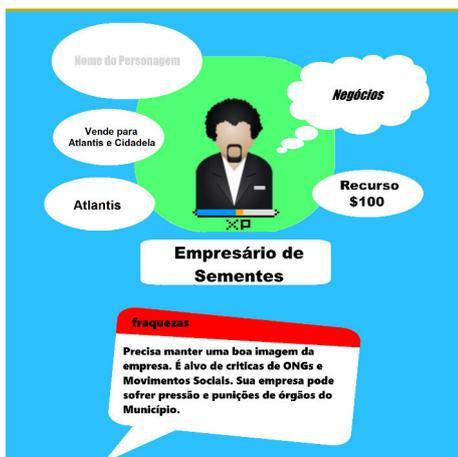


(a)



(b)

Figura 17 – Cartões dos personagens utilizados no RPG do grupo dos Fiscalizadores: (a) Fiscal Ambiental de Atlantis e (b) NPC.



(a)



(b)

Figura 18 – Cartões dos personagens utilizados no RPG do grupo dos Produtores: (a) Empresário de Sementes e (b) Agricultor de Cidadela.

Os diagramas UML auxiliam na modelagem de um jogo RPG pois proporcionam uma visualização geral e objetiva dos agentes do sistema, bem como de suas ações. Para a modelagem do Gorim foram modelados os diagramas de classe e de sequência, gerados na ferramenta Astah UML⁵ (BORN et al., 2019).

O diagrama de classes representa a definição das classes a serem implementadas no sistema, assim como apresenta seus atributos, operações e relações. Neste diagrama é representada a estrutura de classes de cada um dos agentes, mostrando as interações com as respectivas classes agregadas e a comunicação entre eles, conforme Figura 19.

A classe *Pessoa* é a superclasse da qual todas as outras derivam e compartilham os atributos e métodos, que generaliza as operações mais básicas exercidas pelos agentes. Na subclasse *Empresário* é feita a agregação da classe *Produto*, que definirá a função empresarial que este terá. A comunicação com a classe *Agricultor* representa os trâmites de compra e venda e com o *Fiscal_Ambiental*, representa a fiscalização e os trâmites de multas devido à excedência de poluição.

Na subclasse *Agricultor* também é feita a agregação da classe *Produto*, porém com função similar a de um estoque, separando os tipos e subtipos de produtos. A comunicação entre essa classe e a do *Empresário* é necessária por causa da relação compra e venda que apresentam (como citado). E, também como na classe *Empresário*, a comunicação com a classe *Fiscal_Ambiental* representa a fiscalização. Na subclasse *Fiscal_Ambiental*, além das relações com o *Agricultor* e o *Empresário*, há com o *Prefeito*, que representa a reportagem das multas aplicadas e a situação ambiental.

Na subclasse *Prefeito* é feita a comunicação com o *Fiscal_Ambiental*, comentado anteriormente. A comunicação com a classe *Vereador* é dada para fins políticos como alterações de taxas impostos, criação de novas taxas, etc. O papel da subclasse *Vereador* é dada em conjunto com a subclasse *Prefeito*, já comentada. A classe *ONG* é uma classe que representa uma interface da situação atual do jogo que notifica e interage com as outras classes, porém, no papel de um NPC (BORN et al., 2019).

Nos diagramas de sequência, apresentados no Anexo A, é possível verificar a sequência lógica dos processos e as interações dos objetos no sistema, além de mostrar de forma clara cada ação possível pelo personagem. Uma particularidade do sistema é que, tomando-se em consideração o diagrama de classes da Figura 19, todos os agentes descendem de uma mesma classe, podendo compartilhar funções.

⁵<http://astah.net/>

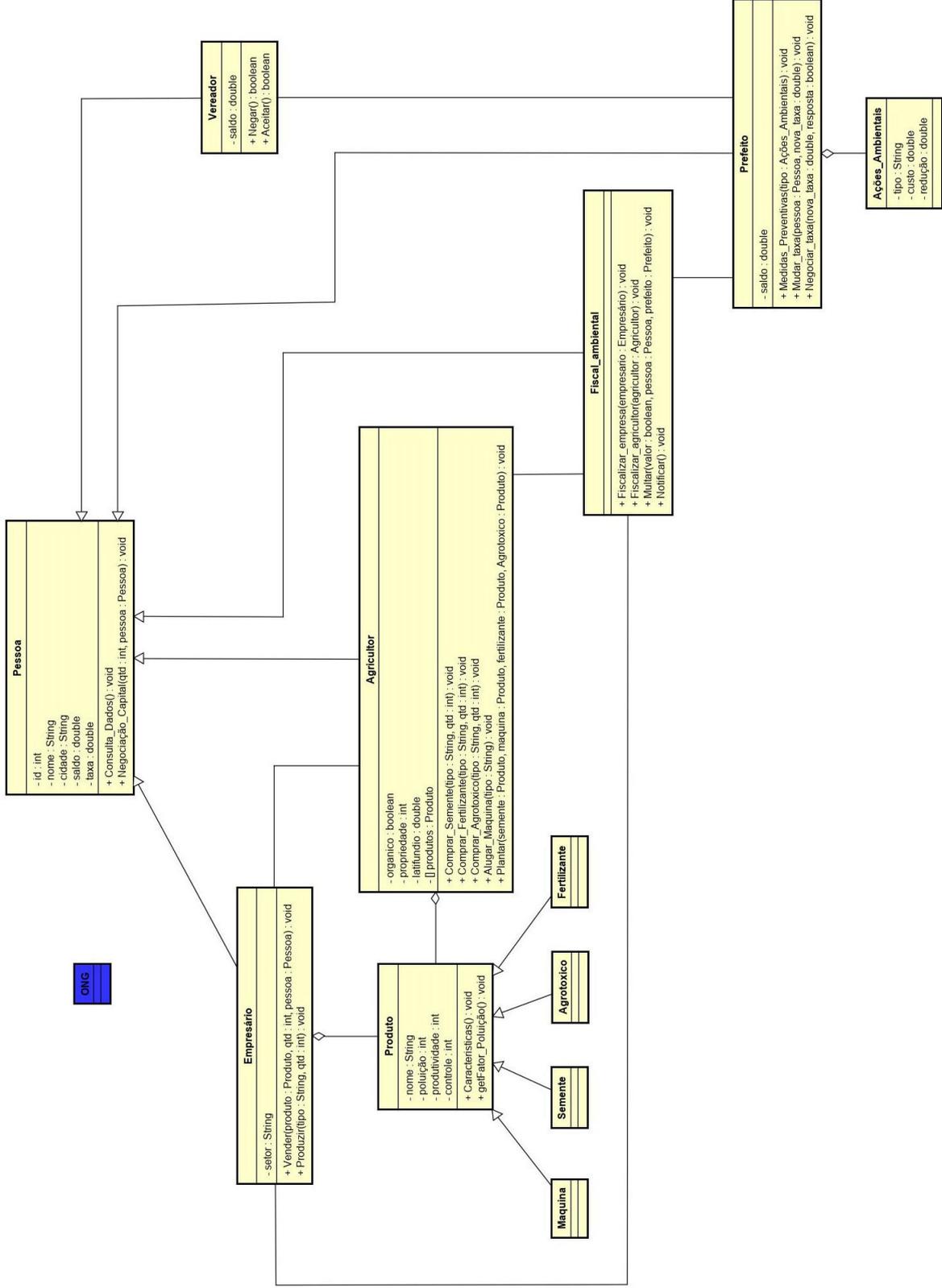


Figura 19 – Diagrama Geral de Classes.

A dinâmica do jogo é dividida em rodadas (cada rodada equivale ao período de um ano), sendo a rodada dividida em duas etapas como apresenta a Figura 20.



Figura 20 – Dinâmica do Jogo Gorim.

Na primeira etapa do Jogo Gorim, ocorre a interação entre os Empresários e os Agricultores. Os Agricultores compram/negociam insumos para sua propriedade e os Empresários, por sua vez, vendem os produtos. Na segunda etapa, os demais agentes interagem no RPG sendo que, os Empresários e os Agricultores podem assumir os papéis de Fiscal Ambiental, Prefeito e Vereador (na falta de jogadores). Na primeira rodada, os papéis da segunda etapa são sorteados entre os jogadores. Entretanto, nas rodadas posteriores, os papéis podem trocar por meio de votação/eleição entre os jogadores de cada cidade (Atlantis e Cidadela).

Os jogadores do Gorim recebem uma ficha para preenchimento de suas escolhas, conforme exemplo da Figura 21, e todas as informações os sobre insumos (produtos) que podem ser adquiridos durante a rodada, a produtividade alcançada de acordo com as escolhas realizadas, a poluição gerada, solicitação de selo verde, impostos cobrados sobre a produção e caso ocorra, propina paga ou recebida de outros jogadores, conforme a Figura 22.

De acordo com a Figura 21, na parte superior, tem a Negociação, ou seja, recebimento ou transferência de “dinheiros” (moeda do jogo), que neste caso está sendo realizada do jogador *Agricultor AT1* (cidade de Atlantis) para o *Fiscal Ambiental* desta cidade no valor de 150 dinheiros. Na parte inferior desta mesma Figura, cada jogador recebe uma ficha com seis parcelas de terra pertencentes a sua propriedade, nesta parcela *P1* o *Agricultor AT1* realiza a compra de insumos, de acordo com a estratégia de jogo que estabeleceu observando as informações da Figura 22 e também do valor em “dinheiros” que têm em caixa, nesta caso cada agricultor recebe um valor de 600 dinheiros.

Uma regra definida no jogo Gorim é, quando o jogador adquirir algum tipo de agrotóxico para a parcela de terra o mesmo não pode adquirir os pacotes de máquinas convencionais e pulverizador para esta parcela. Neste caso, o jogador *Agricultor AT1* escolheu o *Pacote 1* e também o pulverizador. E por fim, pode também solicitar o selo verde visto que o *Agricultor AT1* plantou hortaliça na sua parcela de terra.

Negociação			
Rodada	Jogador	Dinheiros Recebidos	Dinheiros Transferidos
1	Fiscal Ambiental AT	0	150

Compra:

- Hortaliça; preço normal;
- Fertilizante Super Premium; preço baixo;
- Pacote 2; preço normal;
- Pulverizador; preço baixo;

P1		Agricultor AT1																					
Rodada	1	Rodada																					
Semente	<input checked="" type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> S	Semente																					
valor	<input checked="" type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A	valor																					
Fertilizante	<input checked="" type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> SP	Fertilizante																					
Valor	<input checked="" type="checkbox"/> N <input checked="" type="checkbox"/> A	Valor																					
Máquina	<input checked="" type="checkbox"/> P1 <input checked="" type="checkbox"/> P3	Máquina																					
Valor	<input checked="" type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> A	Valor																					
Agrotóxico	<input checked="" type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> SP	Agrotóxico																					
Valor	<input checked="" type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> N <input checked="" type="checkbox"/> A	Valor																					
Pulveriz.	<input checked="" type="checkbox"/> N <input checked="" type="checkbox"/> A	Pulveriz.																					
Pedir Selo Verde	<input checked="" type="checkbox"/>	Pedir Selo Verde																					

← Pedir Selo Verde, se não usou agrotóxico.

Perceba que existe uma caixa só na volta desses dois. NÃO É PERMITIDO COMPRAR MÁQUINA E AGROTÓXICO

Figura 21 – Ficha para Preenchimento do Jogo Gorim.

Produtos			
Sementes	Hortaliças	Arroz	Soja
Valor	10	20	30
Fertilizantes	Comum	Premium	Super-Premium
Valor	30	60	90
Agrotóxicos	Comum	Premium	Super-premium
Valor	10	20	30
Máquinas	Pacote 1	Pacote 2	Pacote 3
Valor	30	60	90
			Pulverizador
			400

Pacote 1: Contém uma semeadora.
Pacote 2: Contém uma semeadora e uma colheitadeira.
Pacote 3: Contém uma semeadora, uma colheitadeira e um drone.

Poluição Gerada pelos agricultores			
	Hortaliças	Arroz	Soja
S/ Agrotóxico	10	20	30
Ag. Super Premium	30	60	90
Ag. Premium	60	120	180
Ag. Comum	100	200	300

Produtividade			
Agrotóxico x Fertilizante			
S/ Agrotóxico	S/ Fertilizante	F. Comum	F. Premium
A. Comum	30	60	90
A. Premium	60	120	180
A. Super Premium	100	200	300

Obs.:
1) Arroz c/ Agrotóxico duplica (2x) a quantidade final de produção.
2) Soja c/ Agrotóxico triplica (3x) a quantidade final de produção.

Máquina x Fertilizante			
S/ Máquinas	S/ Fertilizante	F. Comum	F. Premium
Pulverizador**	10	20	30
Pacote 1	30	60	90
Pacote 2	60	120	180
Pacote 3	100	200	300

** Pulverizador não aumenta a produção
* Pulverizador diminui a poluição pela metade (1/2p) quando usado na plantação.

Produtividade x Poluição			
100%	< 30%		
90%	=> 30 < 40		
80%	=> 40 < 50		
70%	=> 50 < 60		
60%	=> 60 < 70		
40%	=> 70 < 80		
20%	=> 80 <= 99		
0%	100		

Imposto			
Produção (pr)	B	M	A
pr = 0	\$5	\$10	\$15
0 < pr <= 200	5% de pr	10% de pr	15% de pr
200 < pr	25% de pr	30% de pr	35% de pr

Multas		Cálculo	
Poluição(p)*	Ação		
p < 90	S/ Multa	0	
90 <= p < 120	Multa Leve	1.p	
120 <= p < 200	Multa Média	2.p	
200 <= p	Multa Pesada	3.p	

* Valor baseado na média de poluição de todas as parcelas de terra do Agricultor.

Figura 22 – Ficha de Informações do Jogo Gorim.

4.2 A Modelagem da Organização

O estudo de caso desta Tese apresenta a modelagem de uma organização multiagente, o qual baseia-se na representação das interações entre os papéis do sistema e a atuação destes no ambiente, de acordo com a especificação proposta no Diagrama de Integração (BORN et al., 2019). Neste estudo, os agentes são classificados de acordo com os papéis que assumem e são divididos em três grupos principais (Reguladores, Fiscalizadores e Produtores), conforme Figura 23.

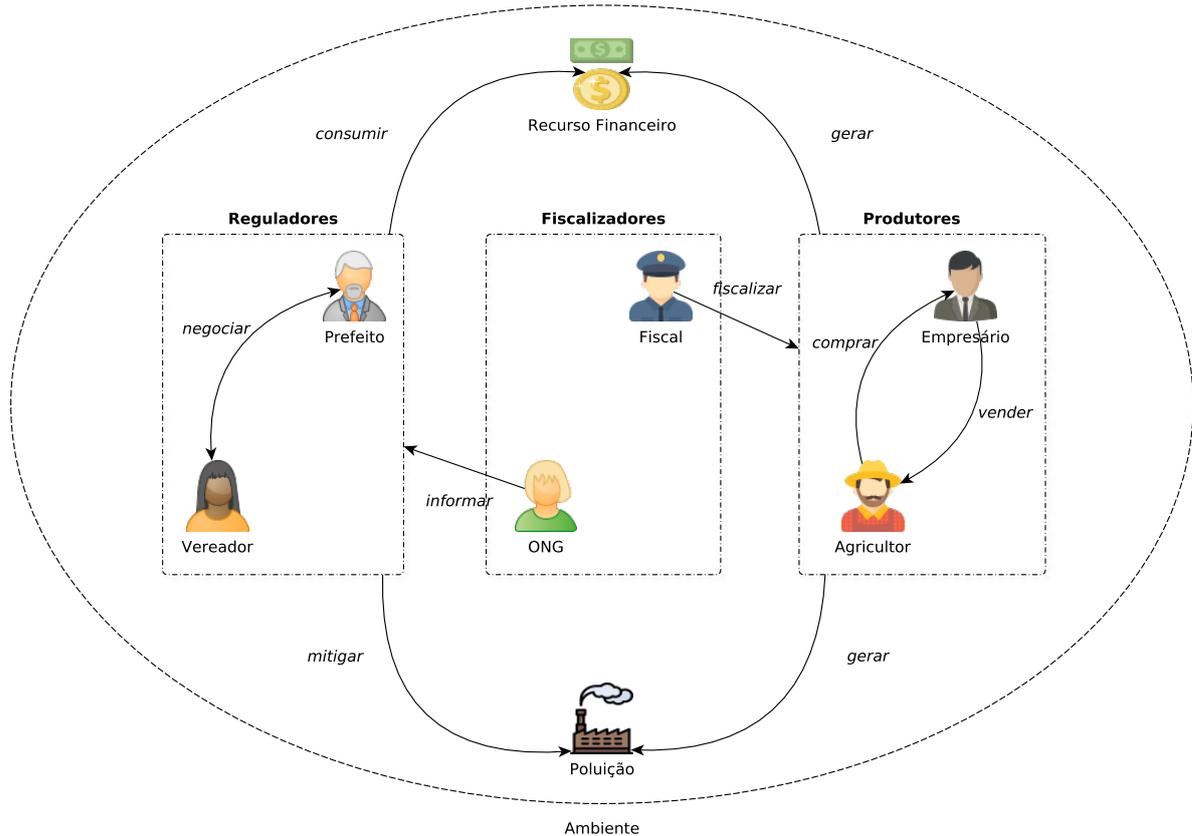


Figura 23 – Diagrama de Integração.

Os agentes reguladores podem assumir os papéis de Prefeito ou Vereador, sendo responsáveis pela administração de recursos financeiros, com o objetivo de controlar/mitigar a poluição do ambiente. Os agentes fiscalizadores possuem como atribuição fiscalizar ou informar irregularidades que impactam no ambiente a partir da produção e assumem os papéis de Fiscal Ambiental ou ONG (Organização Não-Governamental). Os agentes produtores, nos papéis de Empresário ou Agricultor, exploram o ambiente para suas produções e seu principal objetivo é obter recursos financeiros, conforme (BORN et al., 2019). É importante salientar que todos os papéis podem interagir neste sistema.

Para a modelagem desta organização foi utilizado o *MOISE*⁺ visto que este caracteriza-se por ser um modelo organizacional para sistemas multiagente composto de três dimensões: i) *estrutural*, constituída pelos grupos, papéis e ligações; ii) *funcional*, englobando planos globais, metas e missões; e, iii) *deôntica*, a qual define as obrigações e permissões dos papéis. É relevante mencionar também que a modelagem da organização do Jogo Gorim baseou-se no trabalho de Hübner; Sichman; Boissier (2002) com as devidas adaptações e particularidades da organização SMA do estudo de caso.

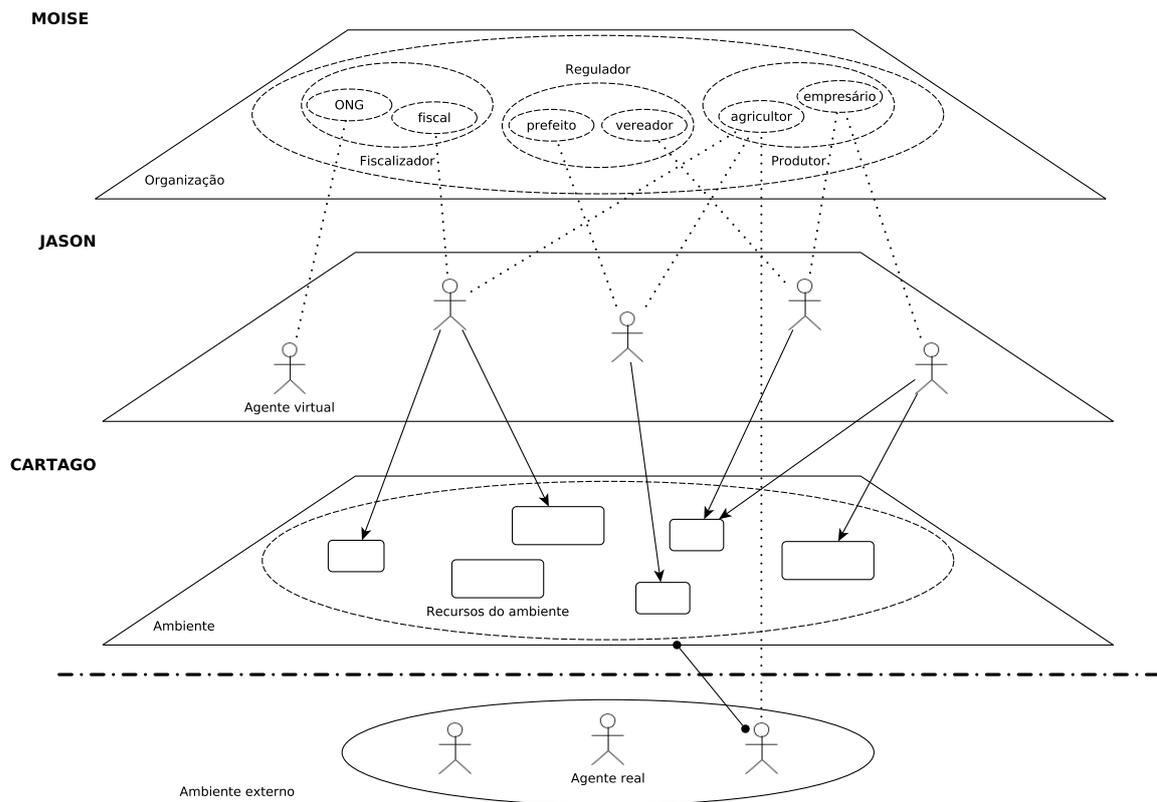


Figura 24 – Visão geral das dimensões do modelo proposto no JaCaMo.

Na perspectiva da Entidade Organizacional (EO), isto é, considerando os agentes deste sistema, na Figura 24 observam-se as quatro dimensões sob o ponto de vista da plataforma JaCaMo ao qual integra Jason, CArTAgO e *MOISE*⁺. A primeira dimensão, o *MOISE*⁺, onde os principais papéis e seus respectivos sub-papéis são apresentados, comunicando-se com a dimensão do Jason. Na segunda dimensão, do Jason, apresentam-se os três tipos de grupos de agentes que compõem a sociedade e esta se comunica com a dimensão do CArTAgO.

A terceira dimensão apresenta o ambiente, no CArTAgO, considerando que este ambiente é a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo e os seus recursos, considerando que este compõem duas cidades, Atlantis e Cidadela. Este ambiente possui quatro empresas, sendo estas: sementes, fertilizantes, agrotóxicos

e máquinas, duas em cada uma destas cidades, esta dimensão também comunica-se com a de agentes reais. A quarta dimensão é composta pelos agentes virtuais, sendo que estes podem assumir qualquer um dos papéis e sub-papéis mencionados no $MOISE^+$. Logo, esta dimensão corresponde à implementação deste sistema multi-agente, ou seja, um sistema online, onde cada agente (considerando que este agente é uma pessoa) com seu respectivo papel pode jogar em um computador diferente e em locais distintos fisicamente, ou até mesmo, serem controlados por agentes inteligentes.

4.2.1 Especificação Estrutural

O modelo $MOISE^+$ possui três conceitos principais quanto a sua especificação estrutural: os papéis, as relações entre papéis e os grupos (HÜBNER, 2003). O **nível individual** (papel de cada agente) caracteriza-se por ser um conjunto de restrições comportamentais que o agente aceita quando entra em um grupo. No $MOISE^+$ o papel tem a função de representar o elo de ligação entre o agente e a organização. Assim, um papel é um identificador sobre o qual define-se as relações com os demais elementos da organização (HÜBNER, 2003).

Nesta formalização do modelo $MOISE^+$ existe também a especificação de papel abstrato, utilizada na especificação estrutural deste estudo de caso, o qual nenhum agente pode assumir. Neste caso, este tipo especial de papel estabelece a relação de herança, então, todos os papéis de jogadores definidos para esta organização herdam propriedades do papel jogador.

No **nível social** (ligações e compatibilidades), os papéis possuem relação com outros papéis e assim surgem restrições de interação entre um e outro (HÜBNER, 2003). Um tipo de restrição entre os papéis são as ligações e estas são divididas em três tipos. Na descrição da formalização das ligações proposta por Hübner (2003) tem-se: *ack* (conhecimento) onde os agentes que assumem este tipo de ligação têm permissão de conhecer os demais agentes do sistema. No tipo de ligação *com* (comunicação) os agentes têm permissão para se comunicar uns com os outros; e, no tipo *aut* (autoridade) um agente possui autoridade sobre outro(s) agente(s).

A relação de compatibilidade possui o objetivo de restringir o papel que um agente pode desempenhar em função do papel atual que já desempenha (HÜBNER, 2003). É relevante salientar que, para a especificação estrutural do Jogo Gorim, foi considerada a ligação de comunicação, sendo que todos os agentes possuem permissão de interagir no sistema. As demais ligações e a compatibilidade entre os papéis não foram especificadas no Jogo Gorim neste primeiro momento.

Considerando o **nível coletivo** (grupos), os papéis somente são assumidos dentro de um grupo. Em um grupo, determinado conjunto de agentes apresenta afinidades e objetivos mais próximos ou em comum (HÜBNER, 2003). A especificação de um

grupo constitui-se: i) dos papéis que podem ser assumidos no grupo; ii) dos sub-grupos que podem ser criados dentro de um grupo; iii) das ligações e das compatibilidades válidas para os agentes do grupo; e, iv) das cardinalidades que estabelecem a formação do grupo (HÜBNER, 2003).

A especificação estrutural da organização para este estudo de caso é representada na Figura 25, tendo como base o diagrama de interação da Figura 23. Esta especificação estrutural possui quatro grupos: *Jogo*, *Regulador*, *Fiscalizador* e *Produtor*, considerando que a interação pode ser interna e externa a estes. Todos os papéis são herdados do papel *Jogador*, portanto este papel é considerado um papel abstrato na organização, e possuem interação bilateral. Ainda, cada grupo e papel possuem as cardinalidades correspondentes a este estudo.

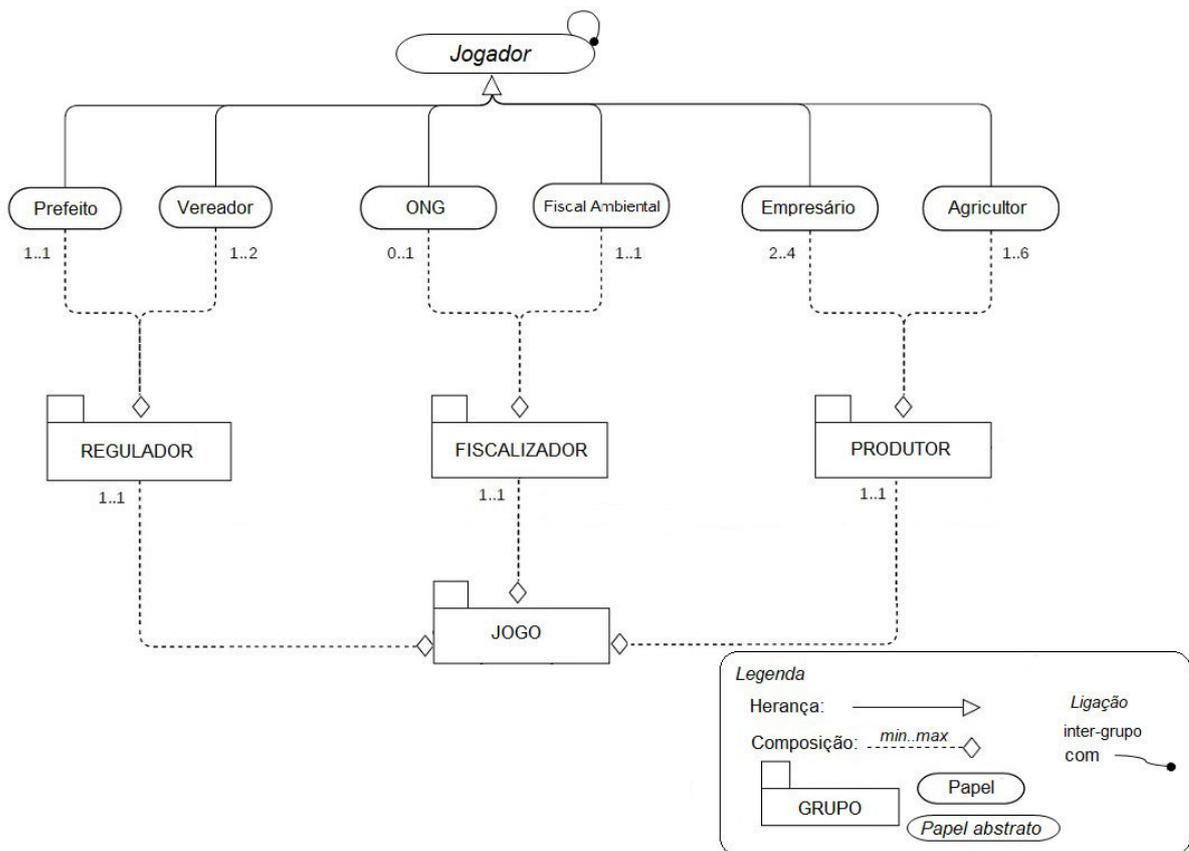


Figura 25 – Modelo proposto da Especificação Estrutural.

No grupo *Regulador*, o agente pode assumir o papel de *Prefeito* ou *Vereador*, permitindo-se um prefeito e dois vereadores. No grupo *Fiscalizador*, o agente pode assumir o papel de *ONG* ou de *Fiscal Ambiental*. Considerou-se que um agente ou nenhum possa assumir o papel da *ONG*, visto que este papel é um NPC na modelagem do estudo de caso e que é obrigatório pelo menos um fiscal ambiental. No grupo *Produtor* o agente pode assumir o papel de *Empresário* ou *Agricultor*, sendo no mínimo um agente para cada papel e, no caso do empresário, no máximo quatro, e do agricultor, no máximo seis. Por fim, o grupo *Jogo* deve conter pelo menos um grupo

de cada um dos demais.

Na Figura 25 observam-se as cardinalidades tanto dos três grupos principais quanto dos papéis de cada um deles. Para os grupos definiu-se que deverá ter pelo menos um grupo Regulador, um Fiscalizador e um Produtor e também, no máximo um grupo de cada, caracterizando a cardinalidade *um-para-um*. Quanto aos papéis, no grupo Regulador definiu-se, pelo menos e no máximo um Prefeito e, pelo menos, um e no máximo dois Vereadores para cada cidade (Atlantis e Cidadela). No grupo Fiscalizador, tem-se a ONG que no Jogo Gorim tem sido representada por um NPC e, pelo menos, um e no máximo um Fiscal Ambiental por cidade. No grupo Produtor, tem-se pelo menos dois e no máximo quatro Empresários (Semente, Fertilizante, Agrotóxico e Máquina) e, no mínimo um e no máximo seis Agricultores, sendo três em cada cidade.

Ainda, na especificação estrutural, os três grupos, juntamente com cada um dos seus papéis, possuem a relação de composição com o grupo Jogo. E, todos os papéis são herdados do papel Jogador e pode haver a comunicação entre todos os papéis do RPG Gorim.

4.2.2 Especificação Funcional

Uma Especificação Funcional (EF) é composta por metas globais, nível individual e nível coletivo. Uma **meta global** é representada pelo estado do mundo que um SMA deseja alcançar. Então, todos ou mais de um agente do sistema realizam ações, a partir de planos, para que esta meta global seja alcançada. No **nível individual** da EF, o esquema social é composto por missões. As missões correspondem a um conjunto de objetivos/metasp que são atribuídos aos agentes através de um papel. Assim, quando um agente se compromete com uma missão ele é o responsável pela realização de todos os objetivos/metasp daquela missão (HÜBNER, 2003).

No **nível coletivo** de uma EF é elaborado o Esquema Social (ES) onde é construída uma árvore de decomposição de metas globais, sendo a raiz desta o objetivo/meta do ES. Nesta decomposição dos objetivos/metasp observam-se os planos que indicam como satisfazer determinado objetivo/meta. Para a construção de um plano são utilizados três tipos de operadores (HÜBNER, 2003):

Sequência: representada por “;” no plano $g_1 = g_3, g_4$, onde a meta g_1 será satisfeita se a meta g_3 for satisfeita e depois a meta g_4 também for.

Seleção: representada por “|” no plano $g_8 = g_{11} | g_{12} | g_{13}$, onde a meta g_8 será satisfeita se uma, somente uma, das metas g_{11} , g_{12} ou g_{13} for satisfeita.

Paralelismo: representado por “||” no plano $g_0 = g_1 || g_2$, sendo que a meta g_0 será satisfeita quando as duas metas g_1 e g_2 o forem, no entanto, as duas sub-metas podem ser buscadas em paralelo.

Na modelagem da EF foram construídos os esquemas sociais e a relação de preferência entre as missões que os papéis envolvidos devem alcançar. Na organização proposta tais esquemas estão representados nas Figuras 26, 27 e 28, bem como a proposta de propina na Figura 29, que pode ser negociada, ou seja, transferida e/ou recebida entre quaisquer papéis do sistema.

O grupo dos agentes Reguladores possui dois papéis, Prefeito e Vereador, desta forma a missão numerada como m_1 refere-se às missões que o papel Prefeito possui obrigação ou permissão para realizar e a missão numerada como m_2 refere-se às missões que o papel de Vereador pode ou não realizar. Na Figura 26 encontra-se a representação da decomposição da árvore do grupo Regulador da organização SMA. As árvores de decomposição são percorridas pelo método busca em profundidade. A Tabela 2 apresenta a descrição dos objetivos que devem ser satisfeitos para alcançar a meta global do grupo Regulador.

Tabela 2 – Descrição dos objetivos/metasp do grupo Regulador.

Objetivo/meta	Descrição
g_0	A meta global é concluir as medidas regulatórias
g_1	Realização dos tratamentos
g_2	Regulamentação de taxas
g_3	Definição de qual ou quais tratamentos realizar
g_4	Aplicação de medidas a serem realizadas
g_5	Avaliação dos níveis de poluição da cidade administrada
g_6	Avaliação do valor do caixa da prefeitura
g_7	Escolha do tratamento a ser realizado (água, lixo ou esgoto)
g_8	Encaminhamento de proposta por parte do papel de vereador
g_9	Análise, pelo papel de prefeito, das propostas encaminhadas
g_{10}	Definição do valor da taxa de imposto
g_{11}	Manter a taxa de imposto pelo papel de vereador
g_{12}	Diminuir a taxa de imposto pelo papel de vereador
g_{13}	Aumentar a taxa de imposto pelo papel de vereador
g_{14}	Manter a taxa de imposto pelo papel de prefeito
g_{15}	Diminuir a taxa de imposto pelo papel de prefeito
g_{16}	Aumentar a taxa de imposto pelo papel de prefeito

O grupo dos agentes Fiscalizadores possui dois papéis, Fiscal Ambiental e ONG, desta forma a missão numerada como m_3 refere-se às missões que o papel Fiscal Ambiental possui obrigação ou permissão para realizar e, a missão numerada como m_4 refere-se às missões que o papel de Agricultor pode ou não realizar. A Figura 27 representa da decomposição da árvore do grupo Fiscalizador da organização SMA. A Tabela 3 apresenta a descrição dos objetivos que devem ser satisfeitos para alcançar a meta global do grupo Fiscalizador.

O grupo dos agentes Produtores possui dois papéis, Empresário e Agricultor, desta forma a missão numerada como m_5 refere-se às missões que o papel de Em-

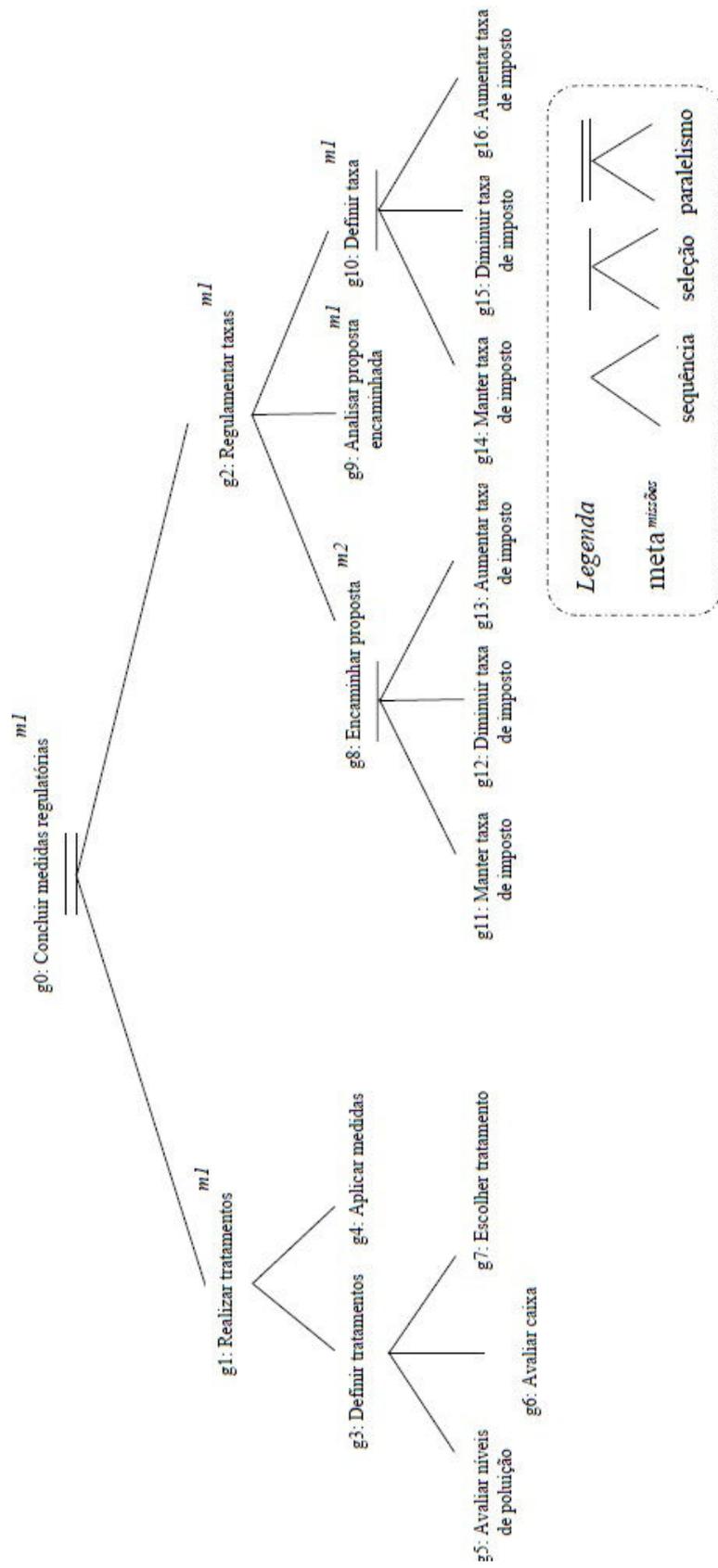


Figura 26 – Modelo proposto da especificação funcional do grupo dos Reguladores.

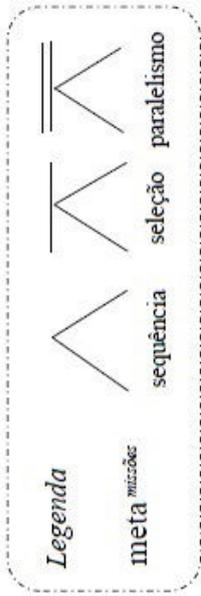
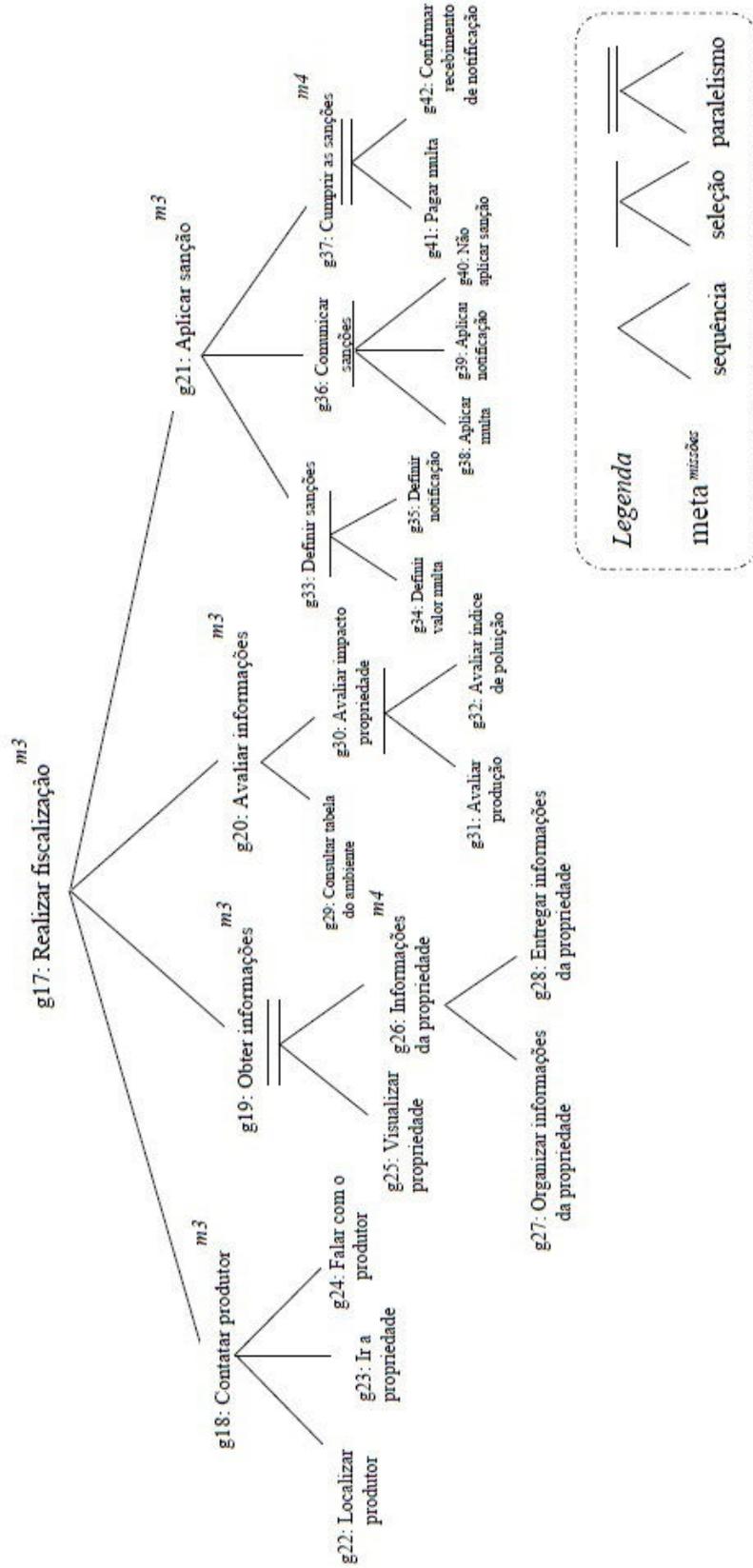


Figura 27 – Modelo proposto da especificação funcional do grupo dos Fiscalizadores.

Tabela 3 – Descrição dos objetivos/metasp do grupo Fiscalizador.

Objetivo/meta	Descrição
<i>g</i> ₁₇	A meta global é realizar fiscalização
<i>g</i> ₁₈	Realizar o contato com o produtor, este pode ser o agricultor ou o empresário
<i>g</i> ₁₉	Obter informações da propriedade (agricultor e/ou empresário)
<i>g</i> ₂₀	Avaliar as informações obtidas da propriedade
<i>g</i> ₂₁	Aplicar sanção
<i>g</i> ₂₂	Localizar o produtor de acordo com suas parcelas de terra plantada
<i>g</i> ₂₃	Deslocar-se até a propriedade
<i>g</i> ₂₄	Estabelecer contato com o produtor
<i>g</i> ₂₅	Visualizar, ou seja, vistoriar a propriedade
<i>g</i> ₂₆	Informações da propriedade fornecidas pelo agricultor ou empresário
<i>g</i> ₂₇	Organizar as informações da propriedade relacionado aos insumos utilizados em cada parcela de terra
<i>g</i> ₂₈	Entregar ao fiscal ambiental as informações solicitadas
<i>g</i> ₂₉	Consultar tabela relacionada aos níveis de poluição do ambiente (seria como uma normativa)
<i>g</i> ₃₀	Avaliar o impacto em relação aos insumos utilizados e a poluição gerada
<i>g</i> ₃₁	Avaliar a produção, ou seja, quais insumos foram utilizados no caso de agricultor, e do empresário, que métodos foram utilizados para produção dos insumos comercializados
<i>g</i> ₃₂	Avaliar, a partir das informações, o nível de poluição produzida
<i>g</i> ₃₃	Definição de quais sanções serão aplicadas
<i>g</i> ₃₄	Definição do valor da multa que será aplicada de acordo com a produção e a poluição gerada
<i>g</i> ₃₅	Definição da notificação que será aplicada
<i>g</i> ₃₆	Realizar a comunicação das sanções definidas
<i>g</i> ₃₇	Efetivar o cumprimento da sanção
<i>g</i> ₃₈	Aplicação da multa na propriedade do empresário e/ou do agricultor
<i>g</i> ₃₉	Aplicação da notificação na propriedade do empresário e/ou do agricultor
<i>g</i> ₄₀	Decidir não aplicar nenhuma sanção
<i>g</i> ₄₁	Efetivar o pagamento da multa
<i>g</i> ₄₂	Confirmação do recebimento da notificação

presário possui obrigação ou permissão para realizar e a missão numerada como m_4 refere-se às missões que o papel de Agricultor pode ou não realizar. A Figura 28 representa a decomposição da árvore do grupo Produtor da organização SMA. A Tabela 4 apresenta a descrição dos objetivos que devem ser satisfeitos para alcançar a meta global do grupo Produtor.

A propina pode ser enviada ou recebida entre quaisquer agentes do Jogo Gorim. Desta forma, as missões numeradas como m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 referem-se às missões que todos os papéis possuem permissão ou não para realizar. A Figura 29 representa a decomposição da árvore referente à negociação da propina da organização SMA. A Tabela 5 apresenta a descrição dos objetivos que devem ser satisfeitos para alcançar a meta global para todos os grupos, caso ocorra a negociação de propina entre os agentes.

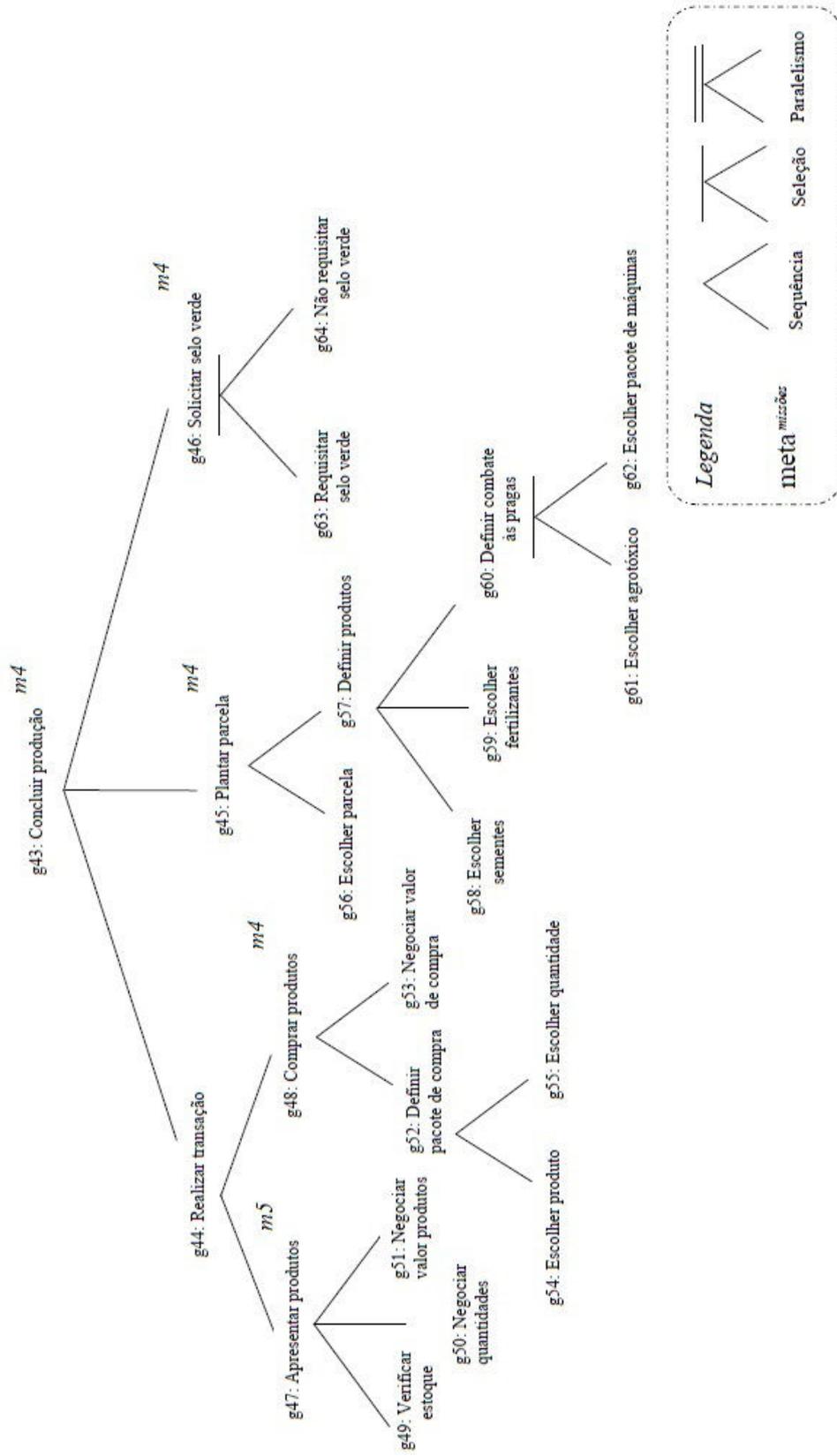


Figura 28 – Modelo proposto da especificação funcional do grupo dos Produtores.

Tabela 4 – Descrição dos objetivos/metasp do grupo Produtor.

Objetivo/meta	Descrição
<i>g</i> ₄₃	A meta global é concluir a produção
<i>g</i> ₄₄	Realizar transação que ocorre entre o empresário e o agricultor
<i>g</i> ₄₅	Plantar a parcela de terra
<i>g</i> ₄₆	Solicitação de selo verde das parcelas de terra
<i>g</i> ₄₇	Apresentação dos produtos disponíveis para venda
<i>g</i> ₄₈	Comprar os produtos (insumos para a propriedade)
<i>g</i> ₄₉	Verificar estoque dos produtos
<i>g</i> ₅₀	Negociar as quantidades solicitadas pelo agricultor
<i>g</i> ₅₁	Negociar o valor dos produtos
<i>g</i> ₅₂	Definir o pacote que o agricultor deseja comprar
<i>g</i> ₅₃	Negociar o valor das compras (insumos)
<i>g</i> ₅₄	Escolher os produtos que o agricultor deseja comprar
<i>g</i> ₅₅	Escolher a quantidade dos produtos que o agricultor deseja comprar
<i>g</i> ₅₆	Escolher a parcela que deseja plantar os insumos
<i>g</i> ₅₇	Definir quais os produtos que serão comprados
<i>g</i> ₅₈	Escolher as sementes que deseja comprar (arroz, soja ou hortaliças)
<i>g</i> ₅₉	Escolher o tipo de fertilizantes que deseja comprar (comum, premium ou super-premium)
<i>g</i> ₆₀	Definir o combate às pragas
<i>g</i> ₆₁	Escolher o tipo de agrotóxico que deseja comprar (comum, premium ou super-premium)
<i>g</i> ₆₂	Escolher o pacote de máquinas que deseja comprar (Pacote 1, Pacote 2, Pacote 3 ou Pulverizador)
<i>g</i> ₆₃	Requisitar o selo verde ao fiscal ambiental (por parcela de terra)
<i>g</i> ₆₄	Não requisitar o selo verde ao fiscal ambiental

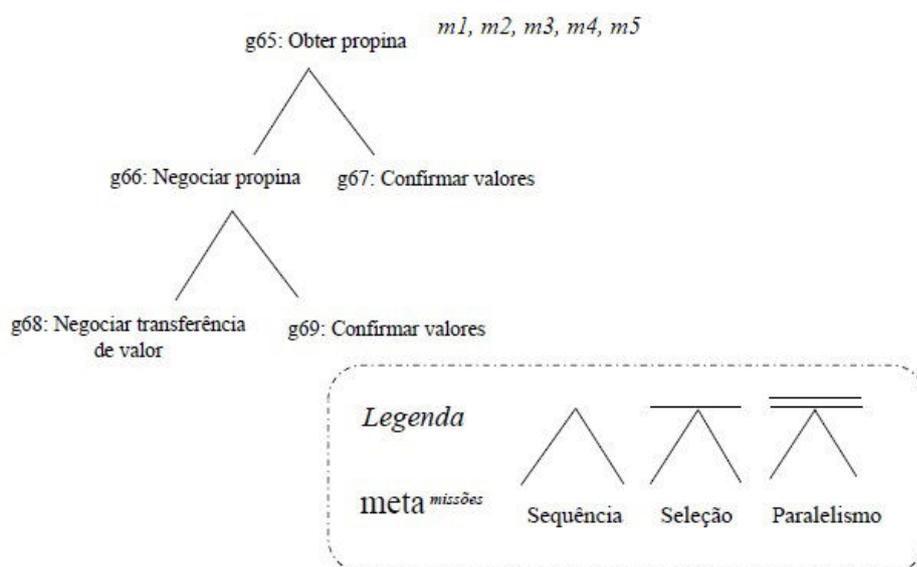


Figura 29 – Modelo proposto da especificação funcional da propina geral a todos os grupos.

Tabela 5 – Descrição dos objetivos/metasp dos grupos Regulador, Fiscalizador e Produtor.

Objetivo/meta	Descrição
<i>g</i> ₆₅	A meta global é a obtenção ou não de propina
<i>g</i> ₆₆	Negociar a propina entre os agentes envolvidos
<i>g</i> ₆₇	Confirmar os valores da propina caso seja aceito
<i>g</i> ₆₈	Negociar como ocorrerá a transferência de valores da propina
<i>g</i> ₆₉	Confirmar os valores da propina caso seja aceito

4.2.3 Especificação Deontica

Na Especificação Deontica (ED) ou Normativa faz-se a relação entre a EE e a EF especificando qual(is) missão(ões) cada papel possui permissão ou obrigação de se

comprometer no sistema. São apresentadas, as ED da Propina (todos os grupos, na Tabela 6) e dos grupos Regulador (Prefeito na Tabela 7 e Vereador na Tabela 8), Fiscalizador (na Tabela 9), Produtor (Empresário e/ou Agricultor na Tabela 10, Empresário na Tabela 11 e Agricultor na Tabela 12).

Tabela 6 – Missões e Planos dos grupos Regulador, Fiscalizador, Produtor para Propina.

Missão	$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 = \langle O, \{g_{65}, g_{66}, g_{67}, g_{68}, g_{69}\}, \text{Todos os Grupos} \rangle$
Objetivos	g_{65} : Obter propina g_{66} : Negociar propina g_{67} : Confirmar valores g_{68} : Negociar transferência de valor g_{69} : Confirmar valores
Planos	$[g_{65}], [g_{66}], [g_{67}], [g_{68}], [g_{69}]$ $g_{65} = g_{66}, g_{67}$ $g_{66} = g_{68}, g_{69}$

Tabela 7 – Missões e Planos do grupo Regulador - Prefeito.

Missão	$m_1 = \langle O, \{g_0, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_9, g_{10}, g_{14}, g_{15}, g_{16}\}, \text{Prefeito} \rangle$
Objetivos	g_0 : Concluir medidas regulatórias g_1 : Realizar tratamentos g_2 : Regulamentar taxas g_3 : Definir tratamentos g_4 : Aplicar medidas g_5 : Avaliar níveis de poluição g_6 : Avaliar caixa g_7 : Escolher tratamento g_9 : Analisar proposta encaminhada g_{10} : Definir taxa g_{14} : Manter taxa de imposto g_{15} : Diminuir taxa de imposto g_{16} : Aumentar taxa de imposto
Planos	$[g_0], [g_1], [g_2], [g_3], [g_4], [g_5], [g_6], [g_7], [g_9], [g_{10}], [g_{14}], [g_{15}], [g_{16}]$ $g_0 = g_1 \parallel g_2$ $g_1 = g_3, g_4$ $g_3 = g_5, g_6, g_7$ $g_2 = g_9, g_{10}$ $g_{10} = g_{14} \mid g_{15} \mid g_{16}$

Tabela 8 – Missões e Planos do grupo Regulador - Vereador.

Missão	$m_2 = \langle O, \{g_8\}, \text{Vereador} \rangle$
Objetivos	g_8 : Encaminhar proposta
Planos	$[g_8]$ $g_8 = g_{11} \mid g_{12} \mid g_{13}$

Tabela 9 – Missões e Planos do grupo Fiscalizador.

Missão	$m_3 = \langle O, \{g_{17}, g_{18}, g_{19}, g_{20}, g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{24}, g_{25}, g_{29}, g_{30}, g_{31}, g_{32}, g_{33}, g_{34}, g_{35}, g_{36}, g_{38}, g_{39}, g_{40}\}, \text{Fiscal Ambiental} \rangle$
Objetivos	g_{17} : Realizar fiscalização g_{18} : Contatar produtor g_{19} : Obter informações g_{20} : Avaliar informações g_{21} : Aplicar sanção g_{22} : Localizar produtor g_{23} : Ir a propriedade g_{24} : Falar com o produtor g_{25} : Visualizar propriedade g_{29} : Consultar tabela do ambiente g_{30} : Avaliar impacto propriedade g_{31} : Avaliar produção g_{32} : Avaliar índice de poluição g_{33} : Definir sanções g_{34} : Definir valor multa g_{35} : Definir notificação g_{36} : Comunicar sanções g_{38} : Aplicar multa g_{39} : Aplicar notificação g_{40} : Não aplicar sanção
Planos	$[g_{17}], [g_{18}], [g_{19}], [g_{20}], [g_{21}], [g_{22}], [g_{23}], [g_{24}], [g_{25}], [g_{29}], [g_{30}], [g_{31}], [g_{32}], [g_{33}], [g_{34}], [g_{35}], [g_{36}], [g_{38}], [g_{39}], [g_{40}]$ $g_{17} = g_{18}, g_{19}, g_{20}, g_{21}$ $g_{18} = g_{22}, g_{23}, g_{24}$ $g_{19} = g_{25} \parallel g_{26}$ $g_{20} = g_{29}, g_{30}$ $g_{30} = g_{31} \mid g_{32}$ $g_{21} = g_{33}, g_{36}, g_{37}$ $g_{33} = g_{34} \mid g_{35}$ $g_{36} = g_{38} \mid g_{39} \mid g_{40}$

Tabela 10 – Missões e Planos do grupo Produtor - Empresário e/ou Agricultor.

Missão	$m_4 = \langle O, \{g_{26}, g_{27}, g_{28}, g_{37}, g_{41}, g_{42}\}, \text{Empresário e/ou Agricultor} \rangle$
Objetivos	g_{26} : Informações da propriedade g_{27} : Organizar informações da propriedade g_{28} : Entregar informações da propriedade g_{37} : Cumprir as sanções g_{41} : Pagar multa g_{42} : Confirmar recebimento de notificação
Planos	$[g_{26}], [g_{27}], [g_{28}], [g_{37}], [g_{41}], [g_{42}]$ $g_{26} = g_{27}, g_{28}$ $g_{37} = g_{41} \parallel g_{42}$

Tabela 11 – Missões e Planos do grupo Produtor - Empresário.

Missão	$m_5 = \langle O, \{g_{44}, g_{47}, g_{49}, g_{50}, g_{51}\}, \text{Empresário} \rangle$
Objetivos	g_{44} : Realizar transação g_{47} : Apresentar produtos g_{49} : Verificar estoque g_{50} : Negociar quantidades g_{51} : Negociar valor produtos
Planos	$[g_{44}], [g_{47}], [g_{49}], [g_{50}], [g_{51}]$ $g_{44} = g_{47}, g_{48}$ $g_{47} = g_{49}, g_{50}, g_{51}$

Tabela 12 – Missões e Planos do grupo Produtor - Agricultor.

Missão	$m_4 = \langle O, \{g_{43}, g_{45}, g_{46}, g_{48}, g_{52}, g_{53}, g_{54}, g_{55}, g_{56}, g_{57}, g_{58}, g_{59}, g_{60}, g_{61}, g_{62}, g_{63}, g_{64}\}, \text{Agricultor} \rangle$
Objetivos	g_{43} : Concluir produção g_{45} : Plantar parcela g_{46} : Solicitar selo verde g_{48} : Comprar produtos g_{52} : Definir pacote de compra g_{53} : Negociar valor de compra g_{54} : Escolher produto g_{55} : Escolher quantidade g_{56} : Escolher parcela g_{57} : Definir produtos g_{58} : Escolher sementes g_{59} : Escolher fertilizantes g_{60} : Definir combate às pragas g_{61} : Escolher agrotóxico g_{62} : Escolher pacote de máquinas g_{63} : Requisitar selo verde g_{64} : Não requisitar selo verde
Planos	$[g_{43}], [g_{45}], [g_{46}], [g_{48}], [g_{52}], [g_{53}], [g_{54}], [g_{55}], [g_{56}],$ $[g_{57}], [g_{58}], [g_{59}], [g_{60}], [g_{61}], [g_{62}], [g_{63}], [g_{64}]$ $g_{43} = g_{45}, g_{46}$ $g_{48} = g_{52}, g_{53}$ $g_{52} = g_{54}, g_{55}$ $g_{45} = g_{56}, g_{57}$ $g_{57} = g_{58}, g_{59}, g_{60}$ $g_{60} = g_{61} \mid g_{62}$ $g_{46} = g_{63} \mid g_{64}$

4.3 Considerações Finais

Neste Capítulo apresentou-se o modelo organizacional proposto para esta Tese. A descrição do Jogo Gorim foi detalhada para uma melhor compreensão da dinâmica do jogo, das interações e possíveis ações dos personagens (agentes) do sistema.

Na Seção 4.2 foi detalhada a modelagem da organização deste SMA (Jogo Gorim) na ferramenta \mathcal{MOISE}^+ , em suas especificações estrutural, funcional e deôntica. Na especificação estrutural, os papéis que compõem os três grupos definidos para o Jogo Gorim, bem como as relações entre os mesmos e os grupos. A especificação funcional descreve as metas globais que o sistema deve alcançar, tanto no nível individual de cada papel, como no nível coletivo, os grupos. Ainda, foi apresentada a especificação normativa ou deôntica, onde descreve-se a relação das duas especificações anteriores exemplificando quais as missões que os papéis devem comprometer-se no sistema.

No Capítulo 5, a seguir, será apresentada a implementação deste SMA na plataforma JaCaMo e os cenários de avaliação da modelagem proposta. A implementação desta organização SMA foi realizada na plataforma JaCaMo, visto que esta fornece suporte necessário para o desenvolvimento da modelagem proposta nesta Tese. A plataforma possui vasta documentação e exemplos que auxiliam no aprendizado e na implementação com agentes. Uma das suas principais vantagens é a integração das três ferramentas: Jason, CArtaGo e \mathcal{MOISE}^+ .

Na modelagem da organização proposta nesta Tese utilizou-se a ferramenta \mathcal{MOISE}^+ e – para que fosse possível verificar as especificações estrutural, funcional e deôntica – também implementou-se em AgentSpeak(L) alguns métodos simples. No Capítulo 5 são apresentados cenários hipotéticos para os grupos de agentes pertencentes a esta modelagem da organização.

5 OS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Neste Capítulo são apresentados quatro cenários de interação entre os agentes do sistema multiagente do Jogo Gorim. Na Seção 5.1 é apresentado o exercício computacional do percurso na modelagem da organização da especificação funcional das quatro árvores de decomposição propostas nesta Tese. Nas Seções 5.2, 5.3 e 5.4 são apresentados os cenários de simulação da interação para cada um dos grupos da organização (Reguladores, Produtores e Fiscalizadores). Ainda, na Seção 5.5 apresenta-se um cenário com a abordagem da propina que pode ser concedida por todos os agentes do sistema.

5.1 Varredura da Organização

O primeiro teste realizado em nível computacional foi concebido para verificar a leitura da organização proposta pela ferramenta JaCaMo. O código fonte das Figuras 30, 31, 32 e 33 representam a implementação dos objetivos na ferramenta Jason.

```
1 //----- Objetivos grupo reguladores-----
2 +!g0 <- .print("g0 - Concluir medidas regulatórias").
3 +!g1 <- .print("g1 - Realizar tratamentos").
4 +!g2 <- .print("g2 - Regulamentar taxas").
5 +!g3 <- .print("g3 - Definir tratamentos").
6 +!g4 <- .print("g4 - Aplicar medidas").
7 +!g5 <- .print("g5 - Avaliar níveis de poluição").
8 +!g6 <- .print("g6 - Avaliar caixa").
9 +!g7 <- .print("g7 - Escolher tratamento").
10 +!g8 <- .print("g8 - Encaminhar proposta").
11 +!g9 <- .print("g9 - Analisar proposta encaminhada").
12 +!g10 <- .print("g10 - Definir taxa").
13 +!g11 <- .print("g11 - Manter taxa de imposto").
14 +!g12 <- .print("g12 - Diminuir taxa de imposto").
15 +!g13 <- .print("g13 - Aumentar taxa de imposto").
16 +!g14 <- .print("g14 - Manter taxa de imposto").
17 +!g15 <- .print("g15 - Diminuir taxa de imposto").
18 +!g16 <- .print("g16 - Aumentar taxa de imposto").
```

Figura 30 – Código do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Reguladores.

```

20 //----- Objetivos grupo fiscalizadores-----
21
22 +!g17 <- .print("g17 - Realizar fiscalização").
23 +!g18 <- .print("g18 - Contatar produtor").
24 +!g19 <- .print("g19 - Obter informações").
25 +!g20 <- .print("g20 - Avaliar informações").
26 +!g21 <- .print("g21 - Aplicar sanção").
27 +!g22 <- .print("g22 - Localizar produtor").
28 +!g23 <- .print("g23 - Ir a propriedade").
29 +!g24 <- .print("g24 - Falar com o produtor").
30 +!g25 <- .print("g25 - Visualizar propriedade").
31 +!g26 <- .print("g26 - Informações da propriedade").
32 +!g27 <- .print("g27 - Organizar informações da propriedade").
33 +!g28 <- .print("g28 - Entregar informações da propriedade").
34 +!g29 <- .print("g29 - Consultar tabela do ambiente").
35 +!g30 <- .print("g30 - Avaliar impacto propriedade").
36 +!g31 <- .print("g31 - Avaliar produção").
37 +!g32 <- .print("g32 - Avaliar índice de poluição").
38 +!g33 <- .print("g33 - Definir sanções").
39 +!g34 <- .print("g34 - Definir valor multa").
40 +!g35 <- .print("g35 - Definir notificação").
41 +!g36 <- .print("g36 - Comunicar sanções").
42 +!g37 <- .print("g37 - Cumprir as sanções").
43 +!g38 <- .print("g38 - Aplicar multa").
44 +!g39 <- .print("g39 - Aplicar notificação").
45 +!g40 <- .print("g40 - Não aplicar sanção").
46 +!g41 <- .print("g41 - Pagar multa").
47 +!g42 <- .print("g42 - Confirmar recebimento de notificação").

```

Figura 31 – Código do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Fiscalizadores.

```

49 //----- Objetivos grupo produtores-----
50
51 +!g43 <- .print("g43 - Concluir produção").
52 +!g44 <- .print("g44 - Realizar transação").
53 +!g45 <- .print("g45 - Plantar parcela").
54 +!g46 <- .print("g46 - Solicitar selo verde").
55 +!g47 <- .print("g47 - Apresentar produtos").
56 +!g48 <- .print("g48 - Comprar produtos").
57 +!g49 <- .print("g49 - Verificar estoque").
58 +!g50 <- .print("g50 - Negociar quantidades").
59 +!g51 <- .print("g51 - Negociar valor produtos").
60 +!g52 <- .print("g52 - Definir pacote de compra").
61 +!g53 <- .print("g53 - Negociar valor de compra").
62 +!g54 <- .print("g54 - Escolher produto").
63 +!g55 <- .print("g55 - Escolher quantidade").
64 +!g56 <- .print("g56 - Escolher parcela").
65 +!g57 <- .print("g57 - Definir produtos").
66 +!g58 <- .print("g58 - Escolher sementes").
67 +!g59 <- .print("g59 - Escolher fertilizantes").
68 +!g60 <- .print("g60 - Definir combate às pragas").
69 +!g61 <- .print("g61 - Escolher agrotóxico").
70 +!g62 <- .print("g62 - Escolher pacote de máquinas").
71 +!g63 <- .print("g63 - Requisitar selo verde").
72 +!g64 <- .print("g64 - Não requisitar selo verde").

```

Figura 32 – Código do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Produtores.

```

74 //----- Objetivos todos os grupos propina-----
75
76 +!g65 <- .print("g65 - Obter propina").
77 +!g66 <- .print("g66 - Negociar propina").
78 +!g67 <- .print("g67 - Confirmar valores").
79 +!g68 <- .print("g68 - Negociar transferência de valor").
80 +!g69 <- .print("g69 - Confirmar valores").

```

Figura 33 – Código do percurso da formação do esquema funcional da Propina.

O resultado dos percursos representados nas Figuras 34, 35, 36 e 37 mostram a busca em profundidade descrita na especificação funcional da modelagem de cada um dos grupos e também da propina.

common	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag10	[game_master2] Contracting ag2 for per
ag1	[game_master2] Contracting ag8 for ver
ag9	[ag2] I am obliged to commit to m1 on ppsch... doing so
ag7	[ag8] I am obliged to commit to m2 on ppsch... doing so
ag8	[ag8] g11 - Manter taxa de imposto
ag8	[ag8] g13 - Aumentar taxa de imposto
ag6	[ag8] g12 - Diminuir taxa de imposto
ag2	[ag2] g5 - Avaliar níveis de poluição
ag8	[ag8] g8 - Encaminhar proposta
ag5	[ag2] g6 - Avaliar caixa
ag3	[ag2] g9 - Analisar proposta encaminhada
ag4	[ag2] g7 - Escolher tratamento
	[ag2] g15 - Diminuir taxa de imposto
	[ag2] g14 - Manter taxa de imposto
	[ag2] g16 - Aumentar taxa de imposto
	[ag2] g3 - Definir tratamentos
	[ag2] g10 - Definir taxa
	[ag2] g4 - Aplicar medidas
	[ag2] g2 - Regulamentar taxas
	[ag2] g1 - Realizar tratamentos
	[ag2] g0 - Concluir medidas regulatórias

Figura 34 – Resultado do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Reguladores.

Estas Figuras apresentam que os agentes que assumem os papéis criados na formação dos esquemas de especificação da modelagem organizacional percorrem por busca em profundidade e da direita para a esquerda a definição proposta na ferramenta MOISE⁺. Na Figura 34 esse percurso possui uma peculiaridade em relação a varredura pois tem-se imediatamente na raiz da árvore uma operação de paralelismo, desta forma a varredura do percurso é definida de acordo com a escolha do agente que assumiu determinado papel neste esquema.

common	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag6	[game_master3] Contracting ag3 for fis
ag9	[game_master3] Contracting ag3 for agr
ag4	[ag3] I am obliged to commit to m3 on ppsch... doing so
ag10	[ag3] I am obliged to commit to m4 on ppsch... doing so
ag1	[ag3] g22 - Localizar produtor
ag2	[ag3] g23 - Ir a propriedade
ag2	[ag3] g24 - Falar com o produtor
ag8	[ag3] g18 - Contatar produtor
ag7	[ag3] g25 - Visualizar propriedade
ag5	[ag3] g27 - Organizar informações da propriedade
ag5	[ag3] g28 - Entregar informações da propriedade
ag3	[ag3] g26 - Informações da propriedade
	[ag3] g19 - Obter informações
	[ag3] g29 - Consultar tabela do ambiente
	[ag3] g31 - Avaliar produção
	[ag3] g32 - Avaliar índice de poluição
	[ag3] g30 - Avaliar impacto propriedade
	[ag3] g20 - Avaliar informações
	[ag3] g35 - Definir notificação
	[ag3] g34 - Definir valor multa
	[ag3] g33 - Definir sanções
	[ag3] g40 - Não aplicar sanção
	[ag3] g39 - Aplicar notificação
	[ag3] g38 - Aplicar multa
	[ag3] g36 - Comunicar sanções
	[ag3] g42 - Confirmar recebimento de notificação
	[ag3] g41 - Pagar multa
	[ag3] g37 - Cumprir as sanções
	[ag3] g21 - Aplicar sanção
	[ag3] g17 - Realizar fiscalização

Figura 35 – Resultado do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Fiscalizadores.

O contexto dos cenários definidos para avaliação deste estudo apresentam foco na modelagem organizacional do SMA para o Jogo Gorim, ou seja, na organização estrutural, funcional e normativa/deôntica. Este sistema apresenta uma ampla complexidade pois envolve grupos de agentes distintos e diversas ações/interações entre os mesmos. Assim, a partir da definição desta organização será possível a implementação de todas as ações/interações entre os agentes.

common	[game_master1] ***** Managing Execution *****
ag5	
ag10	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag1	[game_master1] Contracting ag6 for agr
ag3	[game_master1] Contracting ag4 for emp
ag9	[ag6] I am obliged to commit to m1 on ppsch... doing so
ag2	[ag4] I am obliged to commit to m2 on ppsch... doing so
ag8	[ag4] g49 - Verificar estoque
ag7	[ag4] g50 - Negociar quantidades
ag4	[ag4] g51 - Negociar valor produtos
ag6	[ag4] g47 - Apresentar produtos
	[ag6] g54 - Escolher produto
	[ag6] g55 - Escolher quantidade
	[ag6] g52 - Definir pacote de compra
	[ag6] g53 - Negociar valor de compra
	[ag6] g48 - Comprar produtos
	[ag6] g44 - Realizar transação
	[ag6] g58 - Escolher sementes
	[ag6] g59 - Escolher fertilizantes
	[ag6] g62 - Escolher pacote de máquinas
	[ag6] g61 - Escolher agrotóxico
	[ag6] g60 - Definir combate às pragas
	[ag6] g57 - Definir produtos
	[ag6] g56 - Escolher parcela
	[ag6] g45 - Plantar parcela
	[ag6] g64 - Não requisitar selo verde
	[ag6] g63 - Requisitar selo verde
	[ag6] g46 - Solicitar selo verde
	[ag6] g43 - Concluir produção

Figura 36 – Resultado do percurso da formação do esquema funcional do grupo dos Produtores.

common	[game_master4] ***** Managing Execution *****
ag6	
ag10	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag1	[game_master4] Contracting ag5 for fis
ag8	[game_master4] Contracting ag6 for agr
ag3	[ag5] I am obliged to commit to m5 on ppsch... doing so
ag4	[ag6] I am obliged to commit to m4 on ppsch... doing so
ag2	[ag6] g68 - Negociar transferência de valor
ag5	[ag6] g69 - Confirmar valores
ag7	[ag6] g66 - Negociar propina
ag9	[ag5] g67 - Confirmar valores
	[ag5] g65 - Obter propina

Figura 37 – Resultado do percurso da formação do esquema funcional da Propina.

5.2 Cenário 1: Grupo dos Reguladores

O grupo dos Reguladores é composto por dois papéis principais: *prefeito* e *vereador*. Neste cenário considerou-se estes dois agentes, sendo um agente *prefeito* e um agente *vereador*. O principal objetivo deste cenário é verificar a especificação organizacional da modelagem proposta nesta Tese a partir da interação destes dois agentes.

Inicialmente, os agentes são criados para que o sistema seja inicializado. Neste caso, foram instanciados dez agentes a fim de selecionar dois que assumirão os papéis de *prefeito* e *vereador*.

```
mas arvore1 {
  agent game_master1
  agent ag {
    instances: 10
  }
}
```

Figura 38 – Código de Exemplo do Cenário 1.

No trecho de código fonte, apresentado na Figura 38, define-se um nome para o sistema, neste caso *arvore1*. Posteriormente, são instanciados dois tipos de agentes, o primeiro tipo *game_master1* que iniciará o sistema e agentes do tipo *ag* que são agentes genéricos. Os agentes e suas crenças são implementados na ferramenta Jason e a especificação funcional de cada um dos grupos que compõem este SMA são definidos na ferramenta MOISE⁺.

Neste cenário, para que os agentes possam interagir, é preciso adicionar para os papéis dos agentes *prefeito* e *vereador*, em suas bases de crenças, os objetivos que os mesmos devem cumprir. Essa implementação é realizada na ferramenta Jason a partir da linguagem AgentSpeak(L), conforme Figura 39.

Nesta base de crença são adicionados os objetivos definidos na estrutura funcional deste grupo, de acordo com a Figura 26 do Capítulo 4. Para este cenário foi proposta a interação entre o agente *prefeito* e o agente *vereador* onde o *vereador* envia uma proposta de aumento da taxa de imposto ao *prefeito* e este aceita.

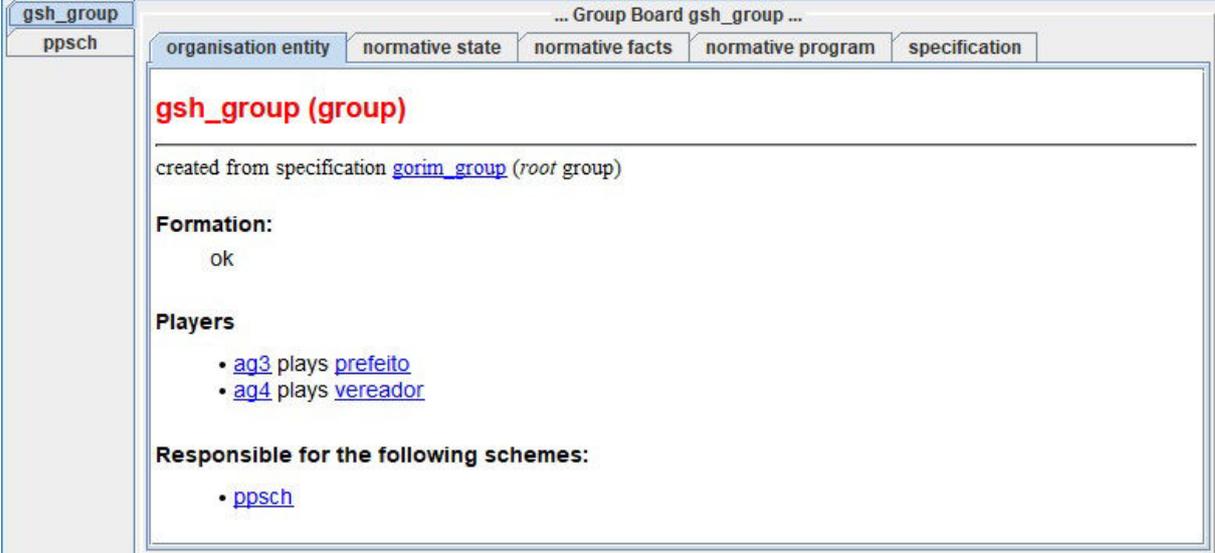
A Figura 40 mostra o resultado de sucesso na formação do esquema, sendo este composto pelo *ag3* (*prefeito*) e o *ag4* (*vereador*). A formação do esquema representa que a especificação funcional definida para este grupo está **correta**. A especificação funcional é implementada na ferramenta MOISE⁺ na linguagem XML, conforme Apêndice A.

```

15 +!g0 <- .print("g0 - Concluir medidas regulatórias").
16 +!g1 <- .print("g1 - Realizar tratamentos").
17 +!g2 <- .print("g2 - Regularizar taxas").
18 +!g3 <- .print("g3 - Definir tratamentos").
19 +!g4 <- .print("g4 - Aplicar medidas").
20 +!g5 <- .print("g5 - Avaliar níveis de poluição").
21 +!g6 <- .print("g6 - Avaliar caixa").
22 +!g7 <- .print("g7 - Escolher tratamento").
23 +!g8 <- .print("g8 - Encaminhar proposta").
24 +!g9 <- .print("g9 - Analisar proposta encaminhada").
25 +!g10 <- .print("g10 - Definir taxa").
26
27⊖+!g11
28   : play(Ag, prefeito, _) & proposal(P) & P < 10
29⊖   <- .print("g11 - Manter taxa de imposto");
30⊖     .print("*****[int. action]***** Enviando proposta ao prefeito.");
31     .send(Ag, tell, tax(P)). +!g11.
32
33⊖+!g12
34   : play(Ag, prefeito, _) & proposal(P) & P >= 10 & P < 20
35⊖   <- .print("g12 - Diminuir taxa de imposto");
36⊖     .print("*****[int. action]***** Enviando proposta ao prefeito.");
37     .send(Ag, tell, tax(P)). +!g12.
38
39⊖+!g13
40   : play(Ag, prefeito, _) & proposal(P) & P > 20
41⊖   <- .print("g13 - Aumentar taxa de imposto");
42⊖     .print("*****[int. action]***** Enviando proposta ao prefeito.");
43     .send(Ag, tell, tax(P)). +!g13.
44
45 +!g14 : tax(T) & T < 10 <- .print("g14 - Manter taxa de imposto"). +!g14.
46 +!g15 : tax(T) & T >= 10 & T < 20 <- .print("g15 - Diminuir taxa de imposto"). +!g15.
47 +!g16 : tax(T) & T > 20 <- .print("g16 - Aumentar taxa de imposto"). +!g16.

```

Figura 39 – Código fonte do grupo dos Reguladores.



The screenshot shows a web-based interface for a 'Group Board' named 'gsh_group'. On the left, there is a sidebar with a tree view containing 'gsh_group' and 'ppsch'. The main area has several tabs: 'organisation entity', 'normative state', 'normative facts', 'normative program', and 'specification'. The 'organisation entity' tab is active, displaying the following information:

- gsh_group (group)**
- created from specification [gorim_group](#) (root group)
- Formation:** ok
- Players**
 - [ag3](#) plays [prefeito](#)
 - [ag4](#) plays [vereador](#)
- Responsible for the following schemes:**
 - [ppsch](#)

Figura 40 – Resultado de formação do esquema funcional do grupo dos Reguladores.

Na Tabela 13 é apresentado o resultado da busca em profundidade realizada pelos dois agentes *ag3* e *ag4* que assumiram os papéis de *prefeito* e *vereador*, respectivamente. É importante salientar que as missões atribuídas a cada papel foram cumpridas pois, de acordo com a Figura 26, o papel de *vereador* compromete-se a cumprir

o ramo da árvore onde os objetivos são g_8, g_{11}, g_{12} e g_{13} .

Tabela 13 – Resultado da especificação funcional do grupo dos Reguladores.

Goal	State	Committed/achieved by	Plan: dependencies
g0	satisfied	[ag3]/[ag3]	$g_1 \parallel g_2 : \{g_1, g_2\}$
g1	satisfied	[ag3]/[ag3]	$g_3, g_4 : \{g_4\}$
g3	satisfied	[ag3]/[ag3]	$g_5, g_6, g_7 : \{g_7\}$
g5	satisfied	[ag3]/[ag3]	
g6	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_5\}$
g7	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_6\}$
g4	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_3\}$
g2	satisfied	[ag3]/[ag3]	$g_8, g_9, g_{10} : \{g_{10}\}$
g8	satisfied	[ag4]/[ag4]	$g_{11} \mid g_{12} \mid g_{13} : \{g_{11}, g_{12}, g_{13}\}$
g11	satisfied	[ag4]/[ag4]	
g12	satisfied	[ag4]/[ag4]	
g13	satisfied	[ag4]/[ag4]	
g9	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_8\}$
g10	satisfied	[ag3]/[ag3]	$g_{14} \mid g_{15} \mid g_{16} : \{g_{14}, g_{15}, g_{16}\}$
g14	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_9\}$
g15	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_9\}$
g16	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_9\}$

Na Figura 41 apresentam-se as missões m_1 e m_2 , sendo a primeira atribuída ao papel de *prefeito* e a segunda ao *vereador*, juntamente com a cardinalidade de cada papel.

Missions							
<ul style="list-style-type: none"> • m_1: goals = {g10, g0, g1, g15, g2, g14, g3, g4, g16, g5, g6, g7, g9}, cardinality = (1,1) • m_2: goals = {g8, g11, g13, g12}, cardinality = (1,1) 							
Normative Specification							
id	condition	role	relation	mission	time constraint	properties	
n1		prefeito	obligation	m1			
n2		vereador	obligation	m2			

Figura 41 – Missões do grupo dos Reguladores.

Neste cenário, a cardinalidade correspondente é (1,1), onde tem-se no mínimo e no máximo 1 (um) *prefeito*, conforme definido no RPG Gorim. O papel de *vereador* também possui a mesma cardinalidade para este cenário. Na especificação estrutural desta organização (Figura 25) recomenda-se no máximo dois *vereadores* para cada uma das cidades, Atlantis e Cidadela. Entretanto, para facilitar a representação e validação deste cenário, optou-se por manter a mesma cardinalidade para os dois

papéis, visto que o principal objetivo é a verificação da especificação funcional deste sistema.

Na especificação normativa definem-se quais papéis possuem obrigação ou permissão para realizar as missões estabelecidas para o cenário. Neste caso, os papéis de prefeito e vereador são obrigados a realizar as missões às quais foram fixadas para cada um.

Em relação aos objetivos dos agentes prefeito e vereador, conforme Figura 39, foram criadas as crenças no AgentSpeak(L) na ferramenta Jason. Como neste cenário o vereador envia ao prefeito uma proposta de aumento da taxa de imposto, torna-se necessário estabelecer algum critério para os objetivos g_{11} , g_{12} , g_{13} , g_{14} , g_{15} e g_{16} . Então, definiu-se que:

- Sendo P a variável atribuída a proposta:
 - se $(P < 10)$, então “Manter a taxa de imposto”;
 - se $(P \geq 10$ e $P < 20)$, então “Diminuir a taxa de imposto”;
 - se $(P > 20)$, então “Aumentar a taxa de imposto”.
- Sendo T a variável atribuída a taxa:
 - se $(T < 10)$, então “Manter a taxa de imposto”;
 - se $(T \geq 10$ e $T < 20)$, então “Diminuir a taxa de imposto”;
 - se $(T > 20)$, então “Aumentar a taxa de imposto”.

O resultado da interação entre estes dois agentes é apresentado na Figura 42, onde a especificação funcional definida no XML é percorrida. Neste caso, não necessariamente como uma busca em profundidade, pois apenas os objetivos especificados no código foram realizados. Como os objetivos g_1 e g_2 podem ser realizados em paralelo, então fica a critério do agente que assume o papel de prefeito percorrer um lado ou outro da árvore. O agente ag_4 que representa o vereador, envia uma solicitação de g_8 -Encaminhar proposta ao prefeito, representado por ag_3 sugerindo Aumentar taxa de imposto.

O evento [int.action] significa que é uma ação interna do agente ag_4 , portanto foi o agente que escolheu o aumento da taxa de imposto percorrendo a árvore da especificação funcional no MOISE⁺. O prefeito por sua vez, aceita a sugestão do vereador para aumentar a taxa de imposto, conforme pode ser verificado na Figura 42 em [ag3] g_{16} -Aumentar taxa de imposto.

common	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag7	[game_master2] Contracting ag4 for ver
ag1	[game_master2] Contracting ag3 for per
ag3	[ag4] I am obliged to commit to m2 on ppsch... doing so
ag3	[ag3] I am obliged to commit to m1 on ppsch... doing so
ag9	[ag4] g13 - Aumentar taxa de imposto
ag8	[ag4] *****[int. action]***** Enviando proposta ao prefeito.
ag10	[ag3] g5 - Avaliar níveis de poluição
ag6	[ag4] g8 - Encaminhar proposta
ag6	[ag3] g6 - Avaliar caixa
ag5	[ag3] g9 - Analisar proposta encaminhada
ag4	[ag3] g7 - Escolher tratamento
ag2	[ag3] g16 - Aumentar taxa de imposto
	[ag3] g3 - Definir tratamentos
	[ag3] g10 - Definir taxa
	[ag3] g4 - Aplicar medidas
	[ag3] g2 - Regulamentar taxas
	[ag3] g1 - Realizar tratamentos
	[ag3] g0 - Concluir medidas regulatórias

Figura 42 – Resultado da execução da interação no grupo dos Reguladores.

5.3 Cenário 2: Grupo dos Fiscalizadores

O grupo dos Fiscalizadores é composto por dois papéis principais: Fiscal Ambiental e ONG. Neste cenário o papel da ONG não participou da interação pois o mesmo é um NPC, definido nas regras do Jogo Gorim. Então, considerou-se dois agentes, sendo um agente `fiscal ambiental` e um agente `agricultor`.

Assim como no Cenário 1, os agentes são criados para que o sistema seja inicializado, instanciando dez agentes a fim de selecionar dois que assumirão os papéis de `fiscal ambiental` e `agricultor`, conforme aponta o código da Figura 43.

```
mas arvore2 {
  agent game_master2
  agent ag {
    instances: 10
  }
}
```

Figura 43 – Código de Exemplo do Cenário 2.

Neste cenário, visando a interação entre os papéis dos agentes `fiscal ambiental` e `agricultor`, é necessário adicionar em suas bases de crenças os objetivos que os mesmos devem cumprir. A implementação, realizada na ferramenta Jason, está apresentada na Figura 44.

```

49 !g17 <- .print("g17 - Realizar fiscalização").
50 !g18 <- .print("g18 - Contatar produtor").
51 !g19 <- .print("g19 - Obter informações").
52 !g20 <- .print("g20 - Avaliar informações").
53 !g21 <- .print("g21 - Aplicar sanção").
54 !g22 <- .print("g22 - Localizar produtor").
55 !g23 <- .print("g23 - Ir a propriedade").
56 !g24 <- .print("g24 - Falar com o produtor").
57 !g25 <- .print("g25 - Visualizar propriedade").
58 !g26 <- .print("g26 - Informações da propriedade").
59 !g27 <- .print("g27 - Organizar informações da propriedade").
60
61 !g28
62   : play(Ag, fiscal, _)
63 <- .print("g28 - Entregar informações da propriedade");
64   +informacao(math.random(15));
65   //Informações das parcelas no ambiente
66   ?informacao(P);
67   .print("*****[int. action]***** enviando informações ao fiscal ambiental. ", P);
68   .send(Ag, tell, informacao(P)).
69
70 !g29 <- .print("g29 - Consultar tabela do ambiente").
71 !g30 <- .print("g30 - Avaliar impacto propriedade").
72
73 !g31 : impact(N) & N >= 5 <- .print("g31 - Avaliar produção"). +!g31.
74 !g32 : impact(N) & N < 5 <- .print("g32 - Avaliar índice de poluição"). +!g32.
75
76 +!g33 <- .print("g33 - Definir sanções").
77
78 +!g34 : informacao(N) & N < 5 <- .print("g34 - Definir valor multa"). +!g34.
79 +!g35 : informacao(N) & N >= 5 <- .print("g35 - Definir notificação"). +!g35.
80
81 +!g36 <- .print("g36 - Comunicar sanções").
82 +!g37 <- .print("g37 - Cumprir as sanções").
83
84 +!g38 : informacao(N) & N < 5 <- .print("g38 - Aplicar multa"). +!g38.
85 +!g39 : informacao(N) & N >= 5 & N < 10 <- .print("g39 - Aplicar notificação"). +!g39.
86 +!g40 : informacao(N) & N >= 10 <- .print("g40 - Não aplicar sanção"). +!g40.
87
88 +!g41 <- .print("g41 - Pagar multa").
89 +!g42 <- .print("g42 - Confirmar recebimento de notificação").

```

Figura 44 – Código fonte do grupo dos Fiscalizadores.

Na base de crença destes papéis são adicionados os objetivos definidos na estrutura funcional deste grupo, de acordo com a Figura 27 representada no Capítulo 4. O cenário mostra a interação entre o agente fiscal ambiental e o agente agricultor onde o fiscal ambiental solicita informações sobre a propriedade do agricultor e este realiza o envio das informações. De posse dessas informações o fiscal ambiental decide qual informação irá avaliar e, posteriormente, toma a decisão de qual sanção aplicar ao agricultor.

A Figura 45 mostra o resultado de sucesso na formação do esquema, sendo este composto pelo ag3 (agricultor) e o ag6 (fiscal ambiental). A formação do esquema representa que a especificação funcional definida para este grupo está **correta**. A especificação funcional é implementada na ferramenta MOISE⁺ na linguagem XML, conforme Apêndice A.

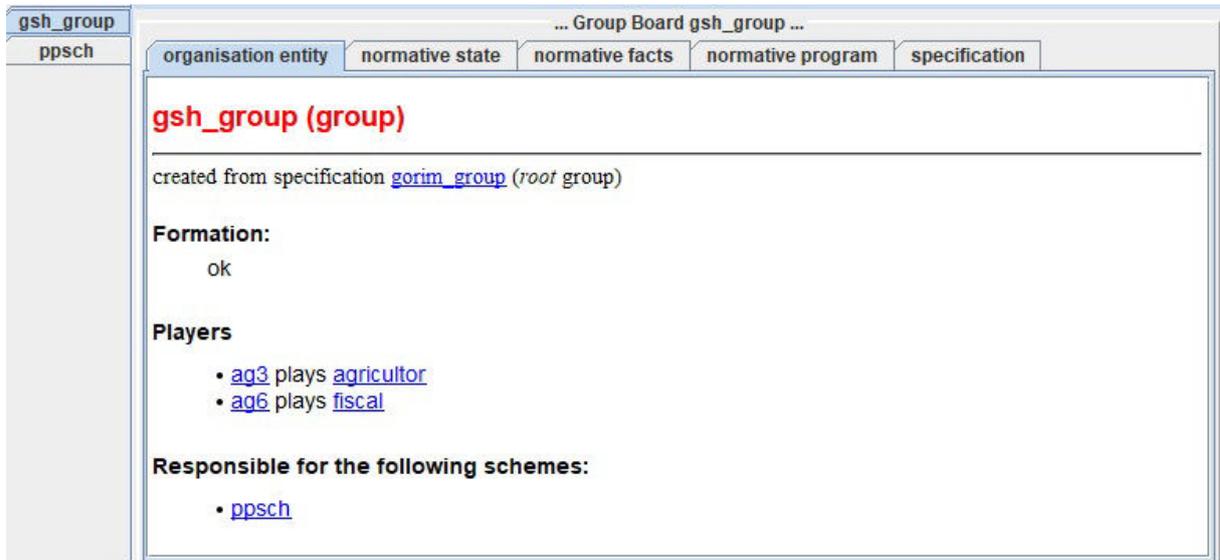


Figura 45 – Resultado de formação do esquema funcional do grupo dos Fiscalizadores.

A Tabela 14 apresenta o resultado da busca em profundidade realizada pelos dois agentes *ag3* e *ag6* que assumiram os papéis de agricultor e fiscal ambiental, respectivamente.

Tabela 14 – Resultado da especificação funcional do grupo dos Fiscalizadores.

Goal	State	Committed/achieved by	Plan: dependencies
g17	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{18}, g_{19}, g_{20}, g_{21} : \{g_{21}\}$
g18	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{22}, g_{23}, g_{24} : \{g_{24}\}$
g22	satisfied	[ag6]/[ag6]	
g23	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{22}\}$
g24	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{23}\}$
g19	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{25} \parallel g_{26} : \{g_{25}, g_{26}\}$
g25	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{18}\}$
g26	satisfied	[ag3]/[ag3]	$g_{27}, g_{28} : \{g_{28}\}$
g27	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_{18}\}$
g28	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_{27}\}$
g20	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{29}, g_{30} : \{g_{30}\}$
g29	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{19}\}$
g30	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{31} \mid g_{32} : \{g_{31}, g_{32}\}$
g31	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{29}\}$
g32	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{29}\}$
g21	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{33}, g_{36}, g_{37} : \{g_{37}\}$
g33	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{34} \mid g_{35} : \{g_{31}, g_{35}\}$
g34	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{20}\}$
g35	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{20}\}$
g36	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{38} \mid g_{39} \mid g_{40} : \{g_{38}, g_{39}, g_{40}\}$
g38	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{33}\}$
g39	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{33}\}$
g40	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{33}\}$
g37	satisfied	[ag3]/[ag3]	$g_{41} \parallel g_{42} : \{g_{41}, g_{42}\}$
g41	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_{36}\}$
g42	satisfied	[ag3]/[ag3]	$\{g_{36}\}$

É importante salientar que as missões atribuídas a cada papel foram cumpridas pois, de acordo com a Figura 27, o papel de agricultor compromete-se a cumprir o ramo da árvore onde os objetivos são g_{26}, g_{27}, g_{28} e o fiscal ambiental com os objetivos $g_{19}, g_{20}, g_{30}, g_{31}, g_{21}, g_{33}, g_{35}$.

Missions						
<ul style="list-style-type: none"> • m_3: goals = {g40, g20, g31, g30, g22, g33, g32, g21, g24, g35, g23, g34, g25, g36, g17, g39, g38, g19, g18, g29}, cardinality = (1,1) • m_4: goals = {g42, g41, g26, g37, g28, g27}, cardinality = (1,1) 						
Normative Specification						
id	condition	role	relation	mission	time constraint	properties
n1		fiscal	<i>obligation</i>	m3		
n2		agricultor	<i>obligation</i>	m4		

Figura 46 – Missões do grupo dos Fiscalizadores.

Na Figura 46 apresentam-se as missões m_3 e m_4 , sendo a primeira atribuída ao papel de fiscal ambiental e a segunda ao agricultor, juntamente com a cardinalidade de cada papel. Assim como no Cenário 1, a cardinalidade correspondente é (1,1), onde tem-se no mínimo e no máximo 1 (um) fiscal ambiental, conforme definido no RPG Gorim. O papel de agricultor também possui a mesma cardinalidade neste cenário.

Na especificação estrutural desta organização, Figura 25, recomenda-se no máximo um fiscal para cada uma das cidades (Atlantis e Cidadela), e no máximo seis agricultores, sendo três em cada uma das cidades. Entretanto, da mesma forma que no Cenário 1, para facilitar a representação e validação deste cenário, optou-se por manter a mesma cardinalidade para os dois papéis, visto que o principal objetivo é a verificação da especificação funcional deste sistema.

Na especificação normativa define-se quais papéis possuem obrigação ou permissão para realizar as missões estabelecidas para o cenário. Neste caso, os papéis de fiscal ambiental e agricultor são obrigados a realizar as missões às quais foram fixadas para cada um.

Em relação aos objetivos dos agentes fiscal ambiental e agricultor, conforme Figura 44, também foram criadas as crenças no AgentSpeak(L) na ferramenta Jason.

Neste cenário o fiscal ambiental solicita informações da propriedade ao agricultor, então para este caso, torna-se necessário estabelecer algum critério para o objetivo $g_{28}, g_{31}, g_{32}, g_{34}, g_{35}, g_{38}, g_{39}, g_{40}$, assim o agente agricultor envia um valor numérico ao fiscal ambiental.

Assim sendo, definiu-se que:

- Sendo P a variável atribuída a este valor numérico:
 - utiliza-se uma função randômica que realiza o sorteio de um valor entre 0 e 15, então “Entregar informações da propriedade”.
- Sendo N a variável atribuída ao impacto da propriedade:
 - se $(N < 5)$, então “Avaliar índice de poluição”;
 - se $(N \geq 5)$, então “Avaliar produção”.
- Sendo N a variável atribuída para a definição de sanções:
 - se $(N < 5)$, então “Definir valor multa”;
 - se $(N \geq 5)$, então “Definir notificação”.
- Sendo N a variável atribuída ao cumprimento das sanções:
 - se $(N < 5)$, então “Aplicar multa”;
 - se $(N \geq 5 \text{ e } N < 10)$, então “Aplicar notificação”;
 - se $(N \geq 10)$, então “Não aplicar sanção”.

O resultado da interação entre estes dois agentes é apresentado na Figura 47, onde a especificação funcional definida no XML é percorrida. Neste caso, ocorre a busca em profundidade, pois apenas os objetivos especificados no código foram realizados. O agente `ag6` que representa o `fiscal ambiental`, envia uma solicitação para obter informações da propriedade do `agricultor`, representado por `ag3` e este retorna um valor numérico randômico representando o objetivo de `Entregar informações da propriedade`.

O evento `[int.action]` significa que é uma ação interna do agente `ag3`, portanto este agente envia uma informação ao agente `ag6`. Como neste caso a resposta é um valor numérico, o `fiscal ambiente` escolhe `[ag6] g31-Avaliar produção do agricultor` e de acordo com este valor escolhe por `[ag6] g39-Aplicar notificação`, conforme pode ser verificado na Figura 47.

É relevante mencionar que o intuito de avaliação deste Cenário 2 é a verificação da busca em profundidade da especificação funcional modelada (Figura 27). Portanto, foram definidos testes simples para a realização desta verificação pois observou-se que, para que um agente `agricultor` forneça todos os dados que correspondem às suas parcelas de terra no jogo Gorim, necessita-se o desenvolvimento de um método bastante complexo em relação às ações desta parte da árvore correspondente ao objetivo `g19`.

common	
ag7	[game_master3] ***** Managing Execution *****
ag5	
ag3	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag4	[game_master3] Contracting ag6 for fis
ag9	[game_master3] Contracting ag3 for agr
ag2	[ag6] I am obliged to commit to m3 on ppsch... doing so
ag8	[ag3] I am obliged to commit to m4 on ppsch... doing so
ag6	[ag6] g22 - Localizar produtor
ag6	[ag6] g23 - Ir a propriedade
ag1	[ag6] g24 - Falar com o produtor
ag10	[ag6] g18 - Contatar produtor
	[ag6] g25 - Visualizar propriedade
	[ag3] g27 - Organizar informações da propriedade
	[ag3] g28 - Entregar informações da propriedade
	[ag3] *****[int. action]***** enviando informações ao fiscal ambiental. 9.095759994431
	[ag3] g26 - Informações da propriedade
	[ag6] g19 - Obter informações
	[ag6] g29 - Consultar tabela do ambiente
	[ag6] g31 - Avaliar produção
	[ag6] g30 - Avaliar impacto propriedade
	[ag6] g20 - Avaliar informações
	[ag6] g35 - Definir notificação
	[ag6] g33 - Definir sanções
	[ag6] g39 - Aplicar notificação
	[ag6] g36 - Comunicar sanções
	[ag3] g42 - Confirmar recebimento de notificação
	[ag3] g41 - Pagar multa
	[ag3] g37 - Cumprir as sanções
	[ag6] g21 - Aplicar sanção
	[ag6] g17 - Realizar fiscalização

Figura 47 – Resultado da execução da interação no grupo dos Fiscalizadores.

5.4 Cenário 3: Grupo dos Produtores

O grupo dos Produtores é composto por dois papéis principais: empresário e agricultor. Neste cenário considerou-se estes dois agentes, sendo um agente o empresário (neste caso o empresário de sementes) e um agricultor.

Da mesma forma que nos Cenários 1 e 2, os agentes são criados para que o sistema seja inicializado, sendo instanciados dez agentes a fim de selecionar dois que assumirão os papéis de empresário e agricultor, conforme o pseudocódigo apresentado na Figura 48.

```

mas arvore3 {
  agent game_master3
  agent ag {
    instances: 10
  }
}

```

Figura 48 – Código de Exemplo do Cenário 3.

O Cenário 3, representa a interação entre os papéis dos agentes empresário e agricultor, é necessário adicionar em suas bases de crenças os objetivos que os mesmos devem cumprir. A implementação é realizada na ferramenta Jason, conforme Figura 49.

```

91 +!g43 <- .print("g43 - Concluir produção").
92 +!g44 <- .print("g44 - Realizar transação").
93 +!g45 <- .print("g45 - Plantar parcela").
94 +!g46 <- .print("g46 - Solicitar selo verde").
95
96+!g47
97 : play(Ag, agricultor, _)
98 <- .print("g47 - Apresentar produtos");
99 !check_stock;
100 for(play(Ag, agricultor, _)){
101   for(produto(P, Q, V)){
102     println("----[int. action]----> Produto: ", P, " | Quantidade: ", Q, " | Valor: ", V, " | Agente: ", Ag);
103     .send(Ag, tell, produto(P, Q, V));
104   };
105 };
106
107+!g48
108 : produto(P, Q, V)[source(Ag)]
109 <- .print("g48 - Comprar produtos");
110 println("----[int. action]----> Solicitando compra: ", P, " | ", Q/2);
111 .send(Ag, tell, solicitacao_de_compra(P,Q/2)).
112
113 +!g49 <- .print("g49 - Verificar estoque").
114 +!g50 <- .print("g50 - Negociar quantidades").
115 +!g51 <- .print("g51 - Negociar valor produtos").
116 +!g52 <- .print("g52 - Definir pacote de compra").
117 +!g53 <- .print("g53 - Negociar valor de compra").
118 +!g54 <- .print("g54 - Escolher produto").
119 +!g55 <- .print("g55 - Escolher quantidade").
120 +!g56 <- .print("g56 - Escolher parcela").
121 +!g57 <- .print("g57 - Definir produtos").
122 +!g58 <- .print("g58 - Escolher sementes").
123 +!g59 <- .print("g59 - Escolher fertilizantes").
124 +!g60 <- .print("g60 - Definir combate às pragas").
125
126 +!g61 : pest_control(N) & N >= 5 <- .print("g61 - Escolher agrotóxico"). +!g61.
127
128 +!g62 : pest_control(N) & N < 5 <- .print("g62 - Escolher pacote de máquinas"). +!g62.
129
130 +!g63 : green_seal(N) & N >= 5 <- .print("g63 - Requisitar selo verde"). +!g63.
131
132 +!g64 : green_seal(N) & N < 5 <- .print("g64 - Não requisitar selo verde"). +!g64.
133
134 // -----
135
136+!check_stock
137
138 <- +produto(soja, 10, alto);
139 +produto(arroz, 15, medio);
140 +produto(hortalica, 20, baixo).

```

Figura 49 – Código fonte do grupo dos Produtores.

Na base de crença destes papéis são adicionados os objetivos definidos na estrutura funcional deste grupo, de acordo com a Figura 28 representada no Capítulo 4. O empresário apresenta os produtos, as quantidades e os valores disponíveis ao agricultor e este solicita a compra e aceita o valor sugerido pelo empresário.

A Figura 50 mostra o resultado de sucesso na formação do esquema, sendo este composto pelo ag6 (agricultor) e o ag9 (empresário de semente). A formação do esquema representa que a especificação funcional definida para este grupo está **correta**. A especificação funcional é implementada na ferramenta MOISE⁺ na linguagem XML, conforme Apêndice A.

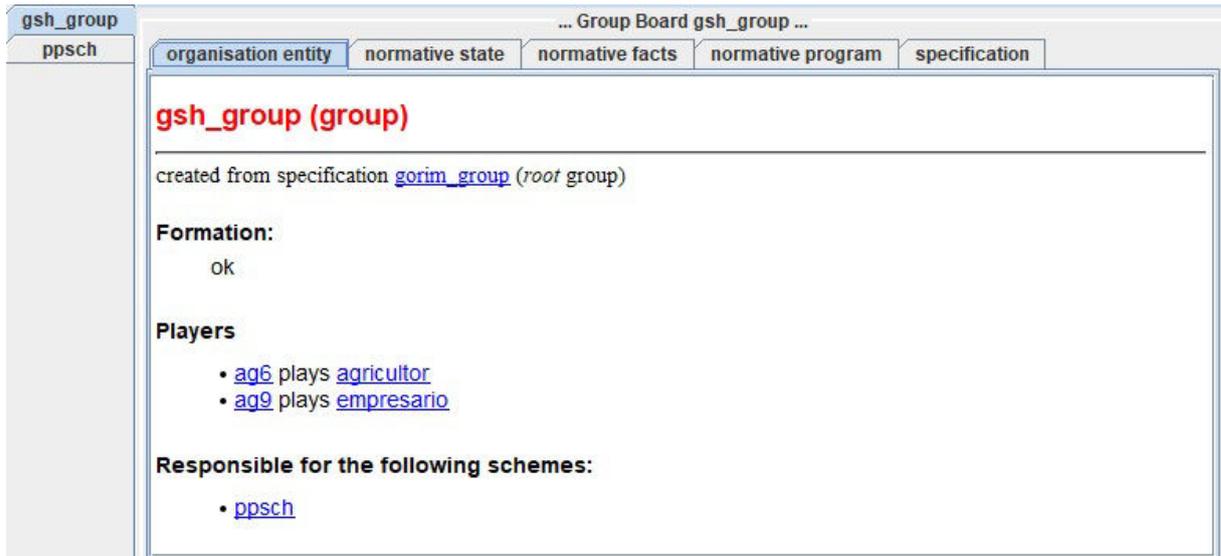


Figura 50 – Resultado de formação do esquema funcional do grupo dos Produtores.

A Tabela 15 apresenta o resultado da busca em profundidade realizada pelos dois agentes ag6 e ag9 que assumiram os papéis de agricultor e empresário, respectivamente.

Tabela 15 – Resultado da especificação funcional do grupo dos Produtores.

Goal	State	Committed/achieved by	Plan: dependencies
g43	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{44}, g_{45}, g_{46} : \{g_{46}\}$
g44	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{47}, g_{48} : \{g_{48}\}$
g47	satisfied	[ag9]/[ag9]	$g_{49}, g_{50}, g_{51} : \{g_{51}\}$
g49	satisfied	[ag9]/[ag9]	
g50	satisfied	[ag9]/[ag9]	$\{g_{49}\}$
g51	satisfied	[ag9]/[ag9]	$\{g_{50}\}$
g48	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{18}\}$
g50	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{27}, g_{28} : \{g_{28}\}$
g51	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{18}\}$
g48	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{52}, g_{53} : \{g_{53}\}$
g52	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{54}, g_{55} : \{g_{55}\}$
g54	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{47}\}$
g55	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{54}\}$
g53	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{52}\}$
g45	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{56} : \{g_{56}\}$
g56	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{58}, g_{59}, g_{60}, g_{57} : \{g_{57}\}$
g58	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{44}\}$
g59	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{58}\}$
g60	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{61} \mid g_{62} : \{g_{61}\}, \{g_{62}\}$
g61	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{59}\}$
g62	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{59}\}$
g57	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{60}\}$
g46	satisfied	[ag6]/[ag6]	$g_{63} \mid g_{64} : \{g_{63}\}, \{g_{64}\}$
g63	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{45}\}$
g64	satisfied	[ag6]/[ag6]	$\{g_{45}\}$

É importante salientar que as missões atribuídas a cada papel foram cumpridas pois, de acordo com a Figura 28, o papel de agricultor compromete-se a cumprir o ramo da árvore onde os objetivos são g_{48} , g_{52} , g_{54} , g_{55} e o empresário com os objetivos g_{47} , g_{49} , g_{50} , g_{51} .

Missions						
<ul style="list-style-type: none"> • m_4: goals = {g60, g62, g61, g53, g64, g52, g63, g44, g55, g43, g54, g46, g57, g45, g56, g48, g59, g58}, cardinality = (1,1) • m_5: goals = {g51, g50, g47, g49}, cardinality = (1,1) 						
Normative Specification						
id	condition	role	relation	mission	time constraint	properties
n1		agricultor	obligation	m4		
n2		empresario	obligation	m5		

Figura 51 – Missões do grupo dos Produtores.

Na Figura 51 apresentam-se as missões m_4 e m_5 , sendo a primeira atribuída ao papel de agricultor e a segunda ao empresário, juntamente com a cardinalidade de cada papel. A cardinalidade correspondente é (1,1), onde tem-se no mínimo e no máximo 1 (um) empresário. O papel de agricultor também possui a mesma cardinalidade neste cenário.

Na especificação estrutural desta organização, Figura 25, recomenda-se no mínimo 1 (um) empresário e no máximo 4 (quatro), correspondendo aos empresários de semente, fertilizante, máquina e agrotóxico das cidades (Atlantis e Cidadela). E, no mínimo 1 (um) e no máximo 6 (seis) agricultores, sendo três em cada uma das cidades. Porém, para facilitar a representação e validação deste cenário, optou-se por manter a mesma cardinalidade para os dois papéis, visto que o principal objetivo é a verificação da especificação funcional deste sistema.

Na especificação normativa define-se quais papéis possuem obrigação ou permissão para realizar as missões estabelecidas para o cenário. Neste caso, os papéis de empresário e agricultor são obrigados a realizar as missões às quais foram fixadas para cada um.

De acordo com os objetivos dos agentes empresário e agricultor, conforme Figura 49, as crenças foram criadas no AgentSpeak(L) na ferramenta Jason.

Neste cenário o empresário apresenta os produtos, quantidades e valores ao agricultor, então o empresário envia estas informações de acordo com o objetivo g_{47} e o agente agricultor realiza uma solicitação de compra de produtos, segundo o objetivo g_{48} .

Desta forma, definiu-se que:

- Sendo (P, Q, V) as variáveis atribuídas a produto, quantidade e valor, respectivamente:
 - o empresário realiza a checagem de produtos em estoque com valores fixos para:
 - * Produto = (soja, 10, alto);
 - * Produto = (arroz, 15, médio);
 - * Produto = (hortaliça, 20, baixo), então “Apresentar produtos”.
- o agricultor solicita comprar produtos:
 - informando $(P, Q/2)$, então “Comprar produtos”.

Neste Cenário 3, o empresário sempre começa a interação apresentando as informações sobre os produtos ao agricultor e este, por sua vez, realiza a solicitação de compra informando o tipo de semente e a quantidade que deseja e aceita o valor sugerido pelo empresário.

common	[game_master1] ***** Managing Execution *****
ag4	
ag5	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag10	[game_master1] Contracting ag6 for agr
ag7	[game_master1] Contracting ag9 for emp
ag9	[ag9] I am obliged to commit to m2 on ppsch... doing so
ag9	[ag6] I am obliged to commit to m1 on ppsch... doing so
ag8	[ag9] g49 - Verificar estoque
ag2	[ag9] g50 - Negociar quantidades
ag6	[ag9] g51 - Negociar valor produtos
ag1	[ag9] g47 - Apresentar produtos
ag3	[ag9] ----[int. action]----> Produto: hortaliça Quantidade: 20 Valor: baixo Agente: ag6
	[ag9] ----[int. action]----> Produto: arroz Quantidade: 15 Valor: medio Agente: ag6
	[ag9] ----[int. action]----> Produto: soja Quantidade: 10 Valor: alto Agente: ag6
	[ag6] g54 - Escolher produto
	[ag6] g55 - Escolher quantidade
	[ag6] g52 - Definir pacote de compra
	[ag6] g53 - Negociar valor de compra
	[ag6] g48 - Comprar produtos
	[ag6] ----[int. action]----> Solicitando compra: soja 5
	[ag6] g44 - Realizar transação
	[ag6] g58 - Escolher sementes
	[ag6] g59 - Escolher fertilizantes
	[ag6] g61 - Escolher agrotóxico
	[ag6] g60 - Definir combate às pragas
	[ag6] g57 - Definir produtos
	[ag6] g56 - Escolher parcela
	[ag6] g45 - Plantar parcela
	[ag6] g64 - Não requisitar selo verde
	[ag6] g46 - Solicitar selo verde
	[ag6] g43 - Concluir produção

Figura 52 – Resultado da execução da interação no grupo dos Produtores.

O resultado da interação entre estes dois agentes é apresentado na Figura 52, onde a especificação funcional definida no XML é percorrida. Neste caso, ocorre a busca em profundidade, pois apenas os objetivos especificados no código foram

realizados. O agente `ag9` que representa o empresário, apresentando as informações sobre os produtos disponíveis para comercialização ao agricultor, representado por `ag6` e este retorna com a solicitação de compra dos produtos que deseja adquirir `Comprar produtos`.

O evento `[int.action]` significa que é uma ação interna do agente `ag6`, portanto este agente envia uma informação ao agente `ag9`. Logo, o empresário envia `[ag9] g47-Apresentar produtos` e o agricultor solicita comprar em `[ag6] g48-Comprar produtos`, conforme verificado na Figura 52.

Contudo, o principal objetivo deste Cenário 3 é a verificação da busca em profundidade da especificação funcional modelada (Figura 28). Logo, foram definidos testes simples para a realização desta verificação visto a complexidade fornecida pela especificação funcional definida para a modelagem do jogo Gorim.

5.5 Cenário 4: Propina

A possibilidade de negociação de propina no jogo Gorim é permitida a todos os grupos (Regulador, Fiscalizador e Produtor), e por consequência, a todos os jogadores. O principal objetivo deste Cenário 4 é verificar a especificação organizacional da modelagem proposta nesta Tese de forma a representar a tentativa de negociação de propina entre dois agentes.

Da mesma forma que nos Cenários 1, 2 e 3, os agentes são criados para que o sistema seja inicializado, sendo instanciados dez agentes a fim de selecionar dois que assumirão os papéis de `fiscal ambiental` e `agricultor`, conforme o código apresentado na Figura 53.

```
mas arvore4 {
  agent game_master4
  agent ag {
    instances: 10
  }
}
```

Figura 53 – Código de Exemplo do Cenário 4.

O Cenário 4, representa a interação entre os papéis dos agentes `fiscal ambiental` e `agricultor`, é necessário adicionar em suas bases de crenças os objetivos que os mesmos devem/podem cumprir. A implementação é realizada na ferramenta Jason, conforme Figura 54.

```

134 +!g65 <- .print("g65 - Obter propina").
135 +!g66 <- .print("g66 - Negociar propina").
136
137⊖+!g67
138   : bribe(V)[source(Ag)] & V > 50
139⊖   <- .print("g67 - Confirmar valores");
140       .print("*****[int. action]***** propina aceita de ", Ag, " value: ", V).
141
142⊖+!g67
143   : bribe(V)[source(Ag)] & V <= 50
144⊖   <- .print("g67 - Confirmar valores");
145       .print("*****[int. action]***** propina NÃO aceita de ", Ag, " value: ", V).
146
147 +!g68 <- .print("g68 - Negociar transferência de valor").
148⊖+!g69
149   : play(Ag, fiscal, _)
150⊖   <- .print("g69 - Confirmar valores");
151⊖       +bribe(math.random(100));
152⊖       ?bribe(V);
153⊖       .print("*****[int. action]***** envio de valor de propina [ ", V, " ] to ", Ag);
154       .send(Ag, tell, bribe(V)).

```

Figura 54 – Código fonte da Propina.

Na base de crença destes papéis são adicionados os objetivos definidos na estrutura funcional da propina, de acordo com a Figura 29. O agricultor realiza a tentativa de subornar o `fiscal` ambiental lhe enviando um valor de propina, este por sua vez, decide não aceitar a negociação.

A Figura 55 mostra o resultado de sucesso na formação do esquema, sendo este composto pelo `ag2` (`fiscal` ambiental) e o `ag7` (`agricultor`). A formação do esquema representa que a especificação funcional definida está **correta**. A especificação funcional é implementada na ferramenta `MOISE+` na linguagem XML, conforme Apêndice A.

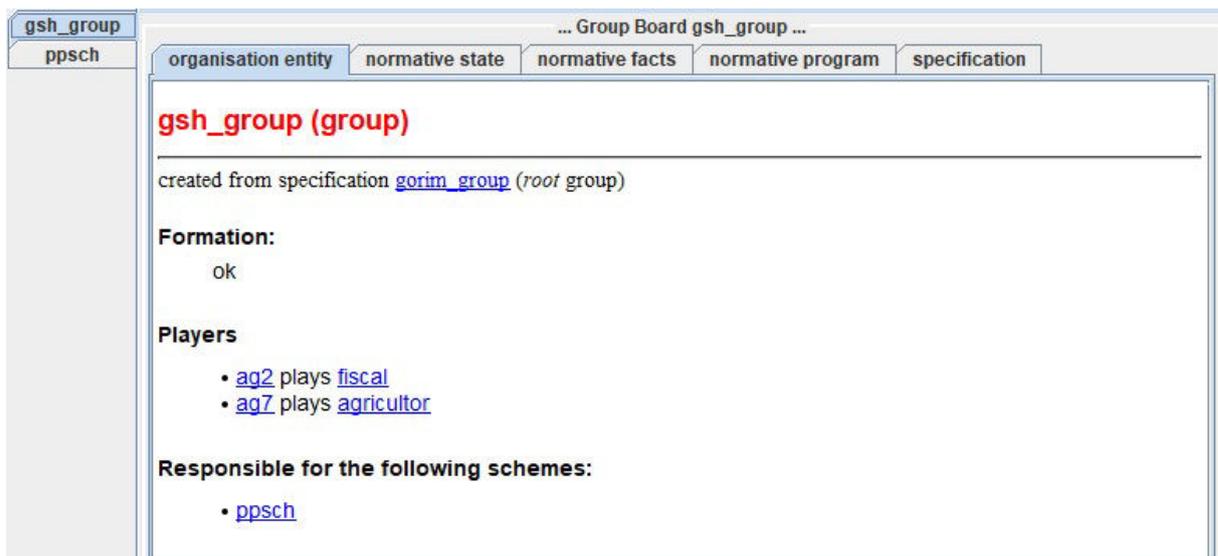


Figura 55 – Resultado de formação do esquema funcional da Propina.

A Tabela 16 apresenta o resultado da busca em profundidade realizada pelos dois agentes *ag2* e *ag7* que assumiram os papéis de *fiscal ambiental* e *agricultor*, respectivamente.

Tabela 16 – Resultado da especificação funcional da Propina.

Goal	State	Committed/achieved by	Plan: dependencies
g65	satisfied	[ag2]/[ag2]	$g_{66}, g_{67} : \{g_{67}\}$
g66	satisfied	[ag7]/[ag7]	$g_{68}, g_{69} : \{g_{69}\}$
g68	satisfied	[ag7]/[ag7]	
g69	satisfied	[ag7]/[ag7]	$\{g_{68}\}$
g67	satisfied	[ag2]/[ag2]	$\{g_{66}\}$

É importante salientar que as missões atribuídas a cada papel foram cumpridas pois, de acordo com a Figura 29, neste caso o papel de *agricultor* compromete-se a cumprir o ramo da árvore onde os objetivos são g_{66}, g_{68}, g_{69} e o *fiscal ambiental* com os objetivos g_{65}, g_{67} .

Missions						
Normative Specification						
id	condition	role	relation	mission	time constraint	properties
n1		fiscal	<i>obligation</i>	m5		
n2		agricultor	<i>obligation</i>	m4		

Figura 56 – Missões dos agentes da Propina.

Na Figura 56 apresentam-se as missões m_4 e m_5 , sendo a primeira atribuída ao papel de *agricultor* e a segunda ao *fiscal ambiental*, juntamente com a cardinalidade de cada papel. A cardinalidade correspondente é (1,1), onde tem-se no mínimo e no máximo 1 (um) *fiscal ambiental*. O papel de *agricultor* também possui a mesma cardinalidade neste cenário.

Na especificação estrutural desta organização, Figura 25, recomenda-se no máximo 1 (um) *fiscal* por cidade, e, no mínimo 1 (um) e no máximo 6 (seis) *agricultores*, sendo três em cada uma das cidades. Porém, para facilitar a representação e validação deste cenário, optou-se por manter a mesma cardinalidade para os dois papéis, visto que o principal objetivo é a verificação da especificação funcional deste sistema.

Na especificação normativa define-se quais papéis possuem obrigação ou permissão para realizar as missões estabelecidas para o cenário. Neste caso, os papéis de

fiscal ambiental e agricultor são obrigados a realizar as missões às quais foram fixadas para cada um.

De acordo com os objetivos dos agentes fiscal ambiental e agricultor, conforme Figura 54, as crenças foram criadas no AgentSpeak(L) na ferramenta Jason.

Neste cenário o agricultor tenta realizar a negociação de propina com o fiscal ambiental e, entretanto, este não aceita. Logo, definiu-se que:

- Sendo V a variável atribuída a propina:
 - se ($V > 50$), então “Confirmar valores” representando propina aceita;
 - se ($V \leq 50$), então “Confirmar valores” representando propina não aceita.

O resultado da interação entre estes dois agentes é apresentado na Figura 57, onde a especificação funcional definida no XML é percorrida. Neste caso, ocorre a busca em profundidade, pois apenas os objetivos especificados no código foram realizados. O agente ag7 que representa o agricultor, envia uma solicitação de tentativa de negociação de propina ao fiscal ambiental, representado por ag2 e este retorna com a resposta de não aceitar, ou seja, não realiza a confirmação do valor enviado pelo agricultor Confirmar valores.

common	[game_master4] ***** Managing Execution *****
ag5	
ag3	Moise Http Server running on http://192.168.1.10:3271
ag1	[game_master4] Contracting ag2 for fis
ag7	[game_master4] Contracting ag7 for agr
ag6	[ag7] I am obliged to commit to m4 on ppsch... doing so
ag2	[ag2] I am obliged to commit to m5 on ppsch... doing so
ag4	[ag7] g68 - Negociar transferência de valor
ag8	[ag7] g69 - Confirmar valores
ag10	[ag7] ****[int. action]***** envio de valor de propina [14.94408535044326] to ag2
ag9	[ag7] g66 - Negociar propina
	[ag2] g67 - Confirmar valores
	[ag2] ****[int. action]***** propina NÃO aceita de ag7 value: 14.94408535044326
	[ag2] g65 - Obter propina

Figura 57 – Resultado da execução da interação dos agentes na Propina.

O evento [int.action] significa que é uma ação interna do agente ag7, portanto este agente envia uma informação ao agente ag2. Logo, o agricultor envia um valor numérico que corresponde ao valor em dinheiros que este pretende pagar e solicita a confirmação de valor em [ag7] g69-Confirmar valores e o fiscal ambiental não aceita o envio da propina e sinaliza negativamente para confirmação de valor em [ag2] g48-Confirmar valores, conforme verificado na Figura 57.

Contudo, o principal objetivo deste Cenário 4 é a verificação da busca em profundidade da especificação funcional modelada (Figura 29). Logo, da mesma forma que nos demais cenários foram definidos testes simples para a realização desta verificação visto a complexidade fornecida pela especificação funcional definida para a modelagem do jogo Gorim.

5.6 Considerações Finais

Os cenários de avaliação do modelo propostos neste Capítulo 5 foram desenvolvidos a partir da modelagem proposta a nível organizacional de agentes do Capítulo 4.

Nos cenários, os agentes conseguem assumir os papéis dos grupos definidos no esquema da especificação funcional da ferramenta MOISE⁺ e, logo, percorrer os objetivos adicionados como crença dos agentes na ferramenta Jason. Em todos os cenários simulados definiu-se dois agentes para cada interação, visto a complexidade, pelo menos neste momento, de adicionar mais agentes ao sistema. Esta complexidade deve-se ao fato de que a especificação funcional de cada grupo de agentes da organização engloba diversas ações que cada agente deve desempenhar no sistema, bem como a interação entre todos estes agentes pois, como especificado no jogo Gorim e na especificação estrutural deste estudo de caso todos os agentes podem interagir no sistema.

Ainda, outra particularidade do jogo RPG Gorim é que a negociação de recebimento ou transferência de valores (propina) pode ocorrer a qualquer momento do jogo e entre qualquer agente deste sistema. Este aspecto torna o jogo interessante mas ao mesmo tempo traz uma complexidade maior para o desenvolvimento de agentes cognitivos.

Desta forma, os cenários desenvolvidos para este estudo de caso mostram-se coerentes com a modelagem organizacional a nível de agentes nos aspectos das especificações estrutural, funcional e deontica/normativa. Portanto, com os resultados alcançados a partir dos cenários simulados nesta Tese e a modelagem organizacional a nível de agentes é possível afirmar que consegue-se reproduzir a complexidade dos personagens e funcionalidades do Jogo Gorim.

6 CONCLUSÕES

Os Sistemas Multiagente são amplamente utilizados em diversas áreas do conhecimento por apresentar técnicas flexíveis e aplicáveis. Assim, a utilização dos SMA produz bons resultados em um cenário onde é utilizado o RPG, na gestão de recursos naturais. A partir dos jogos de papéis, é possível compor discussões, aprendizado e estratégias sobre determinado assunto pois os jogadores interpretam um personagem desempenhando um papel, dentro do contexto do jogo, e isso possibilita a tomada de decisões visando alcançar um determinado objetivo, seja este individual ou coletivo.

A modelagem à nível organizacional de agentes torna um sistema bem definido e estruturado, tanto nos aspectos das especificações estrutural, funcional e deôntica, quanto para a implementação em qualquer plataforma de programação multiagente. Nesta estruturação incluem-se informações e conceitos de um sistema SMA em relação a grupos de agentes, papéis que podem assumir em uma organização, interações entre os mesmos, ações que podem ou não realizar, normas que devem seguir e missões que podem ou devem realizar são elementos de extrema importância em uma modelagem organizacional.

Portanto, a presente Tese buscou responder a questão de pesquisa: *“É possível propor uma modelagem a nível organizacional de agentes que possa reproduzir a complexidade de personagens e funcionalidades de um jogo do tipo RPG?”*.

O estudo de caso apresentado nesta Tese insere-se no contexto do projeto de Gestão Participativa dos Recursos Hídricos Utilizando Jogos Computacionais e Sistemas Multiagente no domínio da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. Assim, com intuito de entender a problemática envolvida neste ambiente, bem como os agentes e as interações foi desenvolvido o jogo de RPG Gorim. Logo, neste contexto, o foco desta Tese foi o desenvolvimento da modelagem a nível organizacional de agentes, ou seja, o SMA do jogo Gorim.

A modelagem a nível organizacional de agentes foi formalizada a partir das definições do Jogo Gorim, observando-se todos os agentes envolvidos, suas interações, ações e regras do jogo. Deste modo foi possível modelar a especificação estrutural que diz respeito aos grupos, aos papéis e as interações que podem ocorrer entre os

agentes. A especificação funcional representa a forma como estes agentes desempenham suas funções no sistema e qual a ordem de ações que podem ou devem seguir, dependendo do grupo ao qual pertencem. E também, a especificação deôntica/normativa que representa as missões que os papéis dos grupos possuem obrigação ou permissão de realizar. A ferramenta utilizada nesta modelagem foi a \mathcal{MOISE}^+ pelo fato de apresentar a linguagem XML que pode ser integrada facilmente à outras plataformas de programação multiagente.

Para que a modelagem organizacional do sistema fosse verificada, ou seja, se atende à necessidade do SMA, foi preciso integrá-la com algum *framework* de programação multiagente, neste caso foi escolhida a plataforma JaCaMo devido a mesma já possuir as três ferramentas para a modelagem de uma organização \mathcal{MOISE}^+ , a implementação dos agentes Jason e ambiente no CArTAgO. Os cenários foram simulados na plataforma JaCaMo, sendo a parte de implementação dos agentes na ferramenta Jason para que fosse possível a adição de crenças simples nos agentes com os objetivos especificados na modelagem. Para estes cenários foi definido a utilização de dois agentes em cada um deles pelo fato da complexidade do sistema.

O objetivo principal destes cenários foi verificar se os agentes conseguiam, formar os grupos (reguladores, fiscalizadores e produtores) do esquema especificado e se conseguiam realizar o percurso correto de busca em profundidade dos objetivos/missões modelados. Neste sistema, tem-se a negociação de transferência ou recebimento de valores (propina) a qual pode ser executada por qualquer agente do sistema. Também foi simulado um cenário para este caso, tentativa de pagamento de propina entre dois agentes do sistema.

A complexidade dos personagens e funcionalidades inseridas na modelagem dos cenários e, portanto, nesta organização, diferentemente do conceito de complexidade de algoritmos como mencionado anteriormente, deveu-se às diversas interações e ações que os agentes deste sistema podem realizar. As estratégias escolhidas pelos agentes, em dada situação do jogo, podem levá-los à diferentes tomadas de decisão e assim tornar mais complexa a coordenação e o controle do sistema. Desta forma, tanto o número de agentes quanto o número de interações e ações contribuem de maneira direta nesta complexidade.

A partir dos resultados alcançados neste trabalho verificou-se que esta questão de pesquisa foi respondida de forma afirmativa pois os cenários desenvolvidos permitiram verificar a coerência da modelagem organizacional deste SMA nos três aspectos das especificações estrutural, funcional e deôntica/normativa.

Ademais, elencam-se as publicações abaixo com resultados da Tese desenvolvida:

- MOTA, F. P.; BORN, M. B.; AGUIAR, M. S. de; ADAMATTI, D. F. Mapping needs, motivations, habits and strategies of RPG players in the context of water resources management. In: IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE

(FIE), 2020.,2020. Proceedings. . . IEEE, 2020. p.1–8.

- FARIAS, G.; BORN, M. B.; LEITZKE, B.; AGUIAR, M. S. de; ADAMATTI, D. F. Systematic Review of Natural Resource Management using Multi-agent Systems and Role-Playing Games. *Research in Computing Science, Mexico*, v.148, n.11, p.91–102, Dec. 2019.
- FARIAS, G.; BORN, M. B.; LEITZKE, B.; AGUIAR, M. S. de; ADAMATTI, D. F. Water Resources Analysis: An Approach based on Agent-Based Modeling. *Revista de Informática Teórica e Aplicada, Porto Alegre, RS*, v.27, n.2,p.81–95, Apr. 2020.
- LEITZKE, B.; BORN, M. B.; FARIAS, G.; MELO, M.; GONÇALVES, M.; RODRIGUES, P.; MARTINS, V.; BARBOSA, R.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Sistemas Multiagente e Jogos de Papéis para Gestão de Recursos Naturais. In: XIII WORKSHOP-ESCOLA DE SISTEMAS DE AGENTES, SEUS AMBIENTES E APLICAÇÕES (WESAAC 2019), 2019, Florianópolis/SC. Anais. . . FURG, 2019. p.218–223.
- BORN, M. B.; LEITZKE, B.; FARIAS, G.; MELO, M.; GONÇALVES, M.; RODRIGUES, P.; MARTINS, V.; BARBOSA, R.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Modelagem Baseada em Agentes para Análise de Recursos Hídricos. In: XIII WORKSHOPESCOLA DE SISTEMAS DE AGENTES, SEUS AMBIENTES E APLICACOES (WESAAC 2019), 2019, Florianópolis/SC. Anais. . . FURG, 2019. p.107–118.
- BORN, M. B.; LEITZKE, B.; FARIAS, G.; MELO, M.; GONÇALVES, M.; RODRIGUES, P.; MARTINS, V.; BARBOSA, R.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Sistema multiagente para gestão de recursos hídricos: Modelagem da bacia do São Gonçalo e da Lagoa Mirim. In: X Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA), Belém/PA, 2019.
- BORN, M. B.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Modelagem da Organização de um Sistema Multiagente aplicado ao Contexto de Recursos Hídricos. In: 19ª Mostra da Produção Universitária (MPU), Rio Grande/RS, 2020.

A modelagem a nível organizacional de agentes desenvolvida nesta Tese auxilia, tanto no contexto deste projeto especificamente, quanto na modelagem de um SMA genérico, pois a partir da definição estrutural de uma organização é possível abordar questões como escalabilidade – podendo inserir quantos agentes forem necessários – e de modularização do sistema.

Em contraste, considera-se como deficiência da modelagem proposta, caso sejam inseridos novos papéis no sistema ou até mesmo novos grupos, será necessária a

revisão da modelagem sob os três aspectos (estrutural, funcional e deôntico) pois isto implica em novas ações, interações e objetivos do sistema.

Em relação as melhorias que podem ser realizadas nesta modelagem incluem-se: i) a inserção de todos os agentes definidos na especificação estrutural; ii) a integração com o motor do jogo desenvolvido em Java; e, iii) a inserção de informações no ambiente – que pode ser desenvolvido na ferramenta CArtAgO – como por exemplo a identificação das parcelas de terra de cada jogador ou informações sobre os insumos comercializados pelos agentes.

Contudo, a partir desta modelagem organizacional vislumbram-se trabalhos futuros relacionados com:

- Integração e testes desta modelagem organizacional com o motor do Jogo Gorim, desenvolvido na linguagem de programação Java (MARTINS, 2021);
- Simulações com todos os agentes definidos no Jogo Gorim;
- Desenvolvimento de agentes cognitivos/agentes inteligentes para que futuramente possam ser inseridos agentes virtuais ao jogo Gorim, realizando integração computacional com jogadores humanos;
- Desenvolvimento de planos que envolvam algum tipo de emoção no agente, de forma que quando os agentes forem virtuais possam reagir de forma distinta em determinadas situações do jogo Gorim, trazendo maior realismo à dinâmica;
- Inclusão de outros aspectos como, por exemplo, informações meteorológicas e de produção de grãos; e,
- Desenvolver uma base de dados para os jogadores virtuais com intuito de abastecer sua base de crenças a cada rodada do jogo Gorim. Essas informações auxiliariam no entendimento do jogo e na tomada de decisão desses agentes para suas ações e também influencia no ambiente jogo.

REFERÊNCIAS

- ADAMATTI, D. F. **Inserção de jogadores virtuais em jogos de papéis para uso em sistemas de apoio à decisão em grupo**: um experimento no domínio da gestão de recursos naturais. 2007. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) — Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo/Brasil.
- ADAMATTI, D. F. Simulação Baseada em Multiagentes como Ferramenta em Estudos Interdisciplinares. **RENOTE**, Porto Alegre, RS, v.9, n.1, July 2011.
- ADAMATTI, D. F.; SICHMAN, J. S.; COELHO, H. An analysis of the insertion of virtual players in GMABS methodology using the ViP-JogoMan prototype. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Surrey, v.12, n.3, 2009.
- ALVARES, L. O.; SICHMAN, J. S. Introdução aos sistemas multiagentes. In: XVII CONGRESSO DA SBC-ANAIS JAI'97, 1997, Brasília/DF. **Anais...** UnB, 1997.
- ALVES, I. J. B. d. R.; FREITAS, L. S. d. Análise comparativa das ferramentas de gestão ambiental: produção mais limpa x ecodesign. In: **Gestão sustentável dos recursos naturais**: uma abordagem participativa. Campina Grande, PB: EDUEPB, 2013. p.193–212.
- AMOUREUX, E.; CHU, T.-Q.; BOUCHER, A.; DROGOUL, A. GAMA: An Environment for Implementing and Running Spatially Explicit Multi-agent Simulations. In: AGENT COMPUTING AND MULTI-AGENT SYSTEMS, 2009, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer Berlin Heidelberg, 2009. p.359–371.
- AMOUREUX, E.; DESVAUX, S.; DROGOUL, A. Towards Virtual Epidemiology: An Agent-Based Approach to the Modeling of H5N1 Propagation and Persistence in North-Vietnam. In: INTELLIGENT AGENTS AND MULTI-AGENT SYSTEMS, 2008, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer Berlin Heidelberg, 2008. p.26–33.
- ANA. **Agência Nacional de Águas - Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. (Acessado em 30 set. 2020). Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>>.

ANDERSON, J. R.; SCHUNN, C. Implications of the ACT-R learning theory: No magic bullets. **Advances in instructional psychology: Educational design and cognitive science**, Mahwah, NJ, v.5, p.1–34, 2000.

ARTERO, A. O. **Inteligência Artificial: Teoria e Prática**. 1a.ed. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2009.

BARNAUD, C. et al. Dealing with power games in a companion modelling process: lessons from community water management in Thailand highlands. **Journal of agricultural education and extension**, Thailand/Ásia, v.16, n.1, p.55–74, 2010.

BARRETEAU, O.; BOUSQUET, F.; MILLIER, C.; WEBER, J. Suitability of Multi-Agent Simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley. **Agricultural Systems**, Paris/França, v.80, n.3, p.255–275, 2004.

BARRETEAU, O. et al. Companion Modelling: A Method of Adaptive and Participatory Research. In: **Companion Modelling**. Netherlands: Springer, 2013. p.13–40.

BOISSIER, O.; BORDINI, R. H.; HÜBNER, J.; RICCI, A. **Multi-agent oriented programming: programming multi-agent systems using JaCaMo**. London/England: MIT Press, 2020.

BOISSIER, O.; HÜBNER, J. F.; RICCI, A. The JaCaMo Framework. In: **Social coordination frameworks for social technical systems**. Berlim/Germany: Springer, 2016. p.125–151.

BOISSIER, O. et al. Multi-agent oriented programming with JaCaMo. **Science of Computer Programming**, Amsterdam, Netherlands, v.78, n.6, p.747–761, 2013.

BORDINI, R. H.; HÜBNER, J. F.; WOOLDRIDGE, M. **Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason**. London/England: John Wiley & Sons, 2007.

BORDINI, R. H.; VIEIRA, R.; MOREIRA, A. F. Fundamentos de sistemas multiagentes. In: XXI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO (SBC 2001), 2001, Fortaleza/CE. **Anais...** sol.sbc.org.br, 2001. v.2, p.3–41.

BORN, M. et al. Sistema Multiagente para Gestão de Recursos Hídricos: Modelagem da Bacia do São Gonçalo e da Lagoa Mirim. In: X WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA A GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS, 2019, Belém/PA. **Anais...** sol.sbc.org.br, 2019. p.87–96.

BORN, M. et al. Modelagem Baseada em Agentes para Análise de Recursos Hídricos. In: XIII WORKSHOP ESCOLA DE SISTEMAS DE AGENTES, SEUS AMBIENTES E APLICACOES (WESAAC 2019), 2019, Florianópolis/SC. **Anais...** FURG, 2019. p.107–118.

BOUSQUET, F. **Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia**. Philippines/Ásia: Int. Rice Res. Inst., 2005.

BOUSQUET, F.; LE PAGE, C.; MÜLLER, J.-P. Modélisation et simulation multi-agent. **Deuxiemes Assises du GDRI3**, Paris/França, 2002.

BRATMAN, M. E.; ISRAEL, D. J.; POLLACK, M. E. Plans and resource-bounded practical reasoning. **Computational Intelligence**, California/USA, v.4, n.3, p.349–355, 1988.

BRITO, A. D.; LOPES, J. C.; ANJOS NETA, M. M. S. dos. TRIPÉ DA GOVERNANÇA: PODER PÚBLICO, SETOR PRIVADO E A SOCIEDADE CIVIL EM BUSCA DE UMA GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis/SC, v.8, n.4, p.506–522, 2020.

CAMARGO, M. E. S. d. A. **Jogos de papéis (RPG) em diálogo com a educação ambiental**: aprendendo a participar da gestão dos recursos hídricos na Região Metropolitana de São Paulo. 2006. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.

CAMPO, P. C. et al. Exploring management strategies for community-based forests using multi-agent systems: A case study in Palawan, Philippines. **Journal of Environmental Management**, Paris/France, v.90, n.11, p.3607–3615, aug 2009.

CASTRO, L. F. S. d. et al. **Desenvolvimento de uma arquitetura multiagente holônica reconfigurável aplicada ao cenário de smart parking**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CHU, T.-Q.; DROGOUL, A.; BOUCHER, A.; ZUCKER, J.-D. Interactive Learning of Independent Experts' Criteria for Rescue Simulations. **Journal of Universal Computer Science**, Paris/France, v.15, p.2701–2725, 2009.

COPPIN, B. **Inteligência Artificial**. 3a.ed. Rio de Janeiro/RJ: Elsevier, 2013.

DECKER, K. TAEMS: A framework for environment centered analysis & design of coordination mechanisms. **Foundations of distributed artificial intelligence**, New York/USA, p.429–448, 1996.

DEMAZEAU, Y.; MÜLLER, J.-P. **Decentralized Ai**. Amsterdam/Holland: Elsevier, 1990.

DROGOUL, A.; FERBER, J. Multi-agent simulation as a tool for modeling societies: Application to social differentiation in ant colonies. In: ARTIFICIAL SOCIAL SYSTEMS, 1994, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer Berlin Heidelberg, 1994. p.2–23.

DROGOUL, A. et al. GAMA: Multi-level and Complex Environment for Agent-based Models and Simulations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTI-AGENT SYSTEMS, 2013., 2013, Richland, SC. **Proceedings...** Int. Fou. for Aut. Agen. and Mult. Sys., 2013. p.1361–1362. (AAMAS '13).

FARIAS, G. et al. Systematic Review of Natural Resource Management using Multi-agent Systems and Role-Playing Games. **Research in Computing Science**, Mexico, v.148, n.11, p.91–102, Dec. 2019.

FARIAS, G. et al. Water Resources Analysis: An Approach based on Agent-Based Modeling. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, Porto Alegre, RS, v.27, n.2, p.81–95, Apr. 2020.

FARIAS, G. P.; DIMURO, G. P.; COSTA, A. C. d. R. Um Modelo de Agente BDI-Fuzzy para Trocas de Serviços Não-Econômicos com base na Teoria das Trocas Sociais de Piaget. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS FUZZY (CBSF), 2012, Natal/RN. **Anais...** Recentes Avanços em Sistemas. Natal: SBMAC, 2012. p.367–380.

FAROLFI, S.; MÜLLER, J.-P.; BONTÉ, B. An iterative construction of multi-agent models to represent water supply and demand dynamics at the catchment level. **Environmental Modelling & Software**, Paris/France, v.25, n.10, p.1130–1148, oct 2010.

FERBER, J.; GUTKNECHT, O. A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI AGENT SYSTEMS (CAT. NO.98EX160), 1998, Paris, France. **Proceedings...** IEEE, 1998. p.128–135.

FOX, M. S.; GRUNINGER, M. Enterprise modeling. **AI magazine**, Cambridge/UK, v.19, n.3, p.109–109, 1998.

FROZZA, R. **SIMULA**: Ambiente para desenvolvimento de sistemas multiagentes reativos. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Informática. Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação., Porto Alegre/RS.

FULLER, M. M.; WANG, D.; GROSS, L. J.; BERRY, M. W. Computational Science for Natural Resource Management. **Computing in Science & Engineering**, Tennessee/USA, v.9, n.4, p.40, 2007.

GAUDOU, B. et al. The MAELIA Multi-Agent Platform for Integrated Analysis of Interactions Between Agricultural Land-Use and Low-Water Management Strategies. In: XIV MULTI-AGENT-BASED SIMULATION, 2014, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer Berlin Heidelberg, 2014. p.85–100.

GOURMELON, F. et al. Role-playing game developed from a modelling process: A relevant participatory tool for sustainable development? A co-construction experiment in an insular biosphere reserve. **Land Use Policy**, Paris/France, v.32, p.96–107, may 2013.

HANNOUN, M.; BOISSIER, O.; SICHMAN, J. S.; SAYETTAT, C. MOISE: An organizational model for multi-agent systems. In: **IBERO-AMERICAN CONFERENCE ON AI/BRAZILIAN SYMPOSIUM ON AI (IBERAMIA/SBIA 2000)**. Atibaia/SP: Springer, 2000. p.156–165.

HITCHENS, M.; DRACHEN, A. et al. The many faces of role-playing games. **International journal of role-playing**, Utrecht/The Netherlands, v.1, n.1, p.3–21, 2009.

HOLZMAN, B. **Natural Resource Management**. (Acessado em 30 Abr. 2019). Disponível em: <http://online.sfsu.edu/bholzman/courses/GEOG_20657/>.

HÜBNER, J. F. **Um modelo de reorganização de sistemas multiagentes**. 2003. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) — Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, SP.

HÜBNER, J. F.; BORDINI, R. H.; VIEIRA, R. Introdução ao desenvolvimento de sistemas multiagentes com Jason. **XII Escola de Informática da SBC**, Blumenau/SC, v.2, p.51–89, 2004.

HÜBNER, J. F.; SICHMAN, J. S. a.; BOISSIER, O. MOISE+: Towards a Structural, Functional, and Deontic Model for MAS Organization. In: **FIRST INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS: PART 1, 2002**, New York, NY, USA. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2002. p.501–502. (AAMAS '02).

HÜBNER, J. F.; SICHMAN, J. S. Organização de Sistemas Multiagentes In II Jornada de Atualização em Inteligência Artificial (in Portuguese), JAIA 2003. In: **XXI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO**, SBC, 2003. **Anais...** SBC, 2003.

HÜBNER, J. F.; SICHMAN, J. S.; BOISSIER, O. Developing organised multiagent systems using the MOISE+ model: programming issues at the system and agent levels. **International Journal of Agent-Oriented Software Engineering**, Berna/Switzerland, v.1, n.3-4, p.370–395, 2007.

HUIZINGA, J. **Homo ludens**: O jogo como elemento da cultura. São Paulo/SP: Perspectiva, 2019. 304p.

LAIRD, J. E. The Soar 8 Tutorial. **University of Michigan, Ann Arbor, MI, Michigan/USA**, 2006.

LE PAGE, C.; DRAY, A.; PEREZ, P.; GARCIA, C. Exploring How Knowledge and Communication Influence Natural Resources Management With ReHab. **Simulation & Gaming**, Dornbirn/Austria, v.47, n.2, p.257–284, apr 2016.

LE PAGE, C. et al. CORMAS: A multiagent simulation toolkit to model natural and social dynamics at multiple scales. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE RESOURCE MODELING ASSOCIATION, 2000, Wageningen (Pays-Bas). **Proceedings...** Resource Modeling Association, 2000. p.1–20.

LE PAGE, C.; NAIVINIT, W.; TRÉBUIL, G.; GAJASENI, N. Companion Modelling with Rice Farmers to Characterise and Parameterise an Agent-Based Model on the Land/Water Use and Labour Migration in Northeast Thailand. In: **Empirical Agent-Based Modelling - Challenges and Solutions**. New York/USA: Springer, 2014. p.207–221.

LE PAGE, C.; PERROTON, A. KILT: A Modelling Approach Based on Participatory Agent-Based Simulation of Stylized Socio-Ecosystems to Stimulate Social Learning with Local Stakeholders. In: XVIII MULTI-AGENT BASED SIMULATION, 2018, Cham. **Proceedings...** Springer International Publishing, 2018. p.156–169.

LE, Q. B.; PARK, S. J.; VLEK, P. L. Land Use Dynamic Simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human–landscape system: 2. Scenario-based application for impact assessment of land-use policies. **Ecological informatics**, Berlim/Germany, v.5, n.3, p.203–221, 2010.

LE, Q. B.; PARK, S. J.; VLEK, P. L.; CREMERS, A. B. Land-Use Dynamic Simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human–landscape system. I. Structure and theoretical specification. **Ecological Informatics**, Berlim/Germany, v.3, n.2, p.135–153, 2008.

LEITZKE, B. et al. Sistemas Multiagente e Jogos de Papéis para Gestão de Recursos Naturais. In: XIII WORKSHOP-ESCOLA DE SISTEMAS DE AGENTES, SEUS AMBIENTES E APLICAÇÕES (WESAAC 2019), 2019, Florianópolis/SC. **Anais...** FURG, 2019. p.218–223.

LEMAÎTRE, C.; EXCELENTE, C. B. Multi-agent organization approach. In: II IBEROAMERICAN WORKSHOP ON DAI AND MAS, 1998, Barcelona/Spain. **Proceedings...** Toledo University, 1998. p.7–16.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. **Gestão sustentável dos recursos naturais**: uma abordagem participativa. Campina Grande/PB: Eduepb, 2013.

LUGER, G. F. **Artificial intelligence** : structures and strategies for complex problem solving. 6a.ed. Boston/Massachusetts/USA: Addison-Wesley, 2013.

LUKE, S. et al. MASON: A Multiagent Simulation Environment. **SIMULATION**, Fairfax/Virginia, v.81, n.7, p.517–527, 2005.

MARTINS, V. B. **GorimWEB**: um RPG para Gestão de Recursos Hídricos na plataforma Web. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) — Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

MORA, M. d. C. **Um Modelo formal e executável de agentes BDI**. 1999. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Informática. Programa de Pós-Graduação em Computação., Porto Alegre/RS.

MOTA, F. P.; BORN, M. B.; AGUIAR, M. S. de; ADAMATTI, D. F. Mapping needs, motivations, habits and strategies of RPG players in the context of water resources management. In: IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), 2020., 2020. **Proceedings...** IEEE, 2020. p.1–8.

NGUYEN VU, Q. A.; GAUDOU, B.; CANAL, R.; HASSAS, S. Coherence and Robustness in a Disturbed MAS. In: IEEE-RIVF INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES, 2009., 2009. **Proceedings...** IEEE, 2009. p.1–4.

NORTH, M. J.; COLLIER, N. T.; VOS, J. R. Experiences Creating Three Implementations of the Repast Agent Modeling Toolkit. **ACM Trans. Model. Comput. Simul.**, New York/USA, v.16, n.1, p.1–25, Jan. 2006.

NWANA, H. S. Software agents: An overview. **The knowledge engineering review**, Ohio/USA, v.11, n.3, p.205–244, 1996.

OMICINI, A.; RICCI, A.; VIROLI, M. Artifacts in the A&A meta-model for multi-agent systems. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, Berna/Switzerland, v.17, p.432–456, 12 2008.

PEREIRA, C. E. K. **Construção de personagem & aquisição de linguagem**: O desafio do RPG no INES. 2003. Dissertação (Mestrado em Artes e Design) — Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

RAO, A. S. AgentSpeak(L): BDI Agents Speak out in a Logical Computable Language. In: EUROPEAN WORKSHOP ON MODELLING AUTONOMOUS AGENTS IN

A MULTI-AGENT WORLD: AGENTS BREAKING AWAY: AGENTS BREAKING AWAY, 7., 1996, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer-Verlag, 1996. p.42–55. (MAA-MAW '96).

RAO, A. S.; GEORGE, M. P. BDI agents: From theory to practice. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS (ICMAS-95), 1995, Melbourne/Australia. **Proceedings...** AAI, 1995. p.312–319.

REBAUDO, F. et al. Agent-Based Models and Integrated Pest Management Diffusion in Small Scale Farmer Communities. In: **Integrated Pest Management**. Dordrecht/Holland: Springer Netherlands, 2014. p.367–383.

REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes**: fundamentos e aplicações. 1a.ed. Barueri/SP: Editora Manole Ltda, 2005.

RICCI, A.; PIUNTI, M.; VIROLI, M. Environment programming in multi-agent systems: an artifact-based perspective. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, Chicago/USA, v.23, n.2, p.158–192, 2011.

RICCI, A.; PIUNTI, M.; VIROLI, M.; OMICINI, A. Environment Programming in CArtAgO. In: **Multi-Agent Programming**: Languages, Tools and Applications. Berna/Switzerland: Springer, 2009. p.259–288. (Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations).

RUANKAEW, N. et al. Companion modelling for integrated renewable resource management: a new collaborative approach to create common values for sustainable development. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, Thailand/Ásia, v.17, n.1, p.15–23, feb 2010.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. 3a.ed. Rio de Janeiro/RJ: Elsevier Ltda, 2013.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. d. M.; PEREIRA, I. d. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília/DF: UFES, 2001.

SICHMAN, J. S.; DEMAZEAU, Y.; BOISSIER, O. When can knowledge-based systems be called agents. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, 1992, Rio de Janeiro/RJ. **Anais...** SBC, 1992. v.9, p.172–185.

SOUCHÈRE, V. et al. Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. **Environmental Modelling & Software**, Montpellier/France, v.25, n.11, p.1359–1370, nov 2010.

STRACK, J. **GPSS**: modelagem e simulação de sistemas. Rio de Janeiro/RJ: LTC, 1984.

TAILLANDIER, P.; BUARD, E. Designing Agent Behaviour in Agent-Based Simulation through Participatory Method. In: PRINCIPLES OF PRACTICE IN MULTI-AGENT SYSTEMS, 2009, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer Berlin Heidelberg, 2009. p.571–578.

TAILLANDIER, P. et al. Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform. **Geoinformatica**, Berlin/Heidelberg, Dec 2018.

TAILLANDIER, P.; VO, D.-A.; AMOUROUX, E.; DROGOUL, A. GAMA: A Simulation Platform That Integrates Geographical Information Data, Agent-Based Modeling and Multi-scale Control. In: PRINCIPLES AND PRACTICE OF MULTI-AGENT SYSTEMS, 2012, Berlin, Heidelberg. **Proceedings...** Springer Berlin Heidelberg, 2012. p.242–258.

THÉRON, O. et al. Integrated modelling of social-ecological systems: The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity problems. In: INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE SOCIETY (IEMSS 2014), 2014, San Diego, California, United States. **Proceedings...** iEMSS, 2014. p.1 p.

THOMASI, C. D. **OriAs**: uma infraestrutura de nível micro-organizacional baseada em artefatos para sistemas multiagentes. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Programa de Pós-Graduação em Computação, UFRGS, Porto Alegre/RS.

TISUE, S.; WILENSKY, U. NetLogo: A simple environment for modeling complexity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPLEX SYSTEMS, 2004, Boston/MA. **Proceedings...** New England Complex Systems Institute, 2004. v.21, p.16–21.

VASCONCELOS, M. E. G. d. **Avaliação ambiental estratégica para a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos**. (Acessado 30 Abr. 2020). Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-13>>.

WOOLDRIDGE, M. Intelligent agents. **Multiagent systems**, Cambridge/MA, v.6, 1999.

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to Multi agent Systems**. University of Liverpool, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2002.

YANNAKAKIS, G. N.; TOGELIUS, J. **Artificial intelligence and games**. New York/USA: Springer, 2018. v.2.

ZACHARY, W. W.; RYDER, J. M.; HICINBOTHOM, J. H. Cognitive task analysis and modeling of decision making in complex environments. In: **Making decisions under stress**: Implications for individual and team training. Washington, D.C., United States: American Psychological Association, 1998. p.315–344.

Apêndices

APÊNDICE A – Especificação Funcional da Organização

Os arquivos a seguir correspondem a especificação funcional implementada para o Jogo Gorim na ferramenta *MOISE+*.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<?xml-stylesheet href="http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsl"
type="text/xsl" ?>
```

```
<organisational-specification
  id="gorim_specification" os-version="0.8"
  xmlns='http://moise.sourceforge.net/os '
  xmlns:xsi='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance'
  xsi:schemaLocation='http://moise.sourceforge.net/os
```

```
http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsd'>
```

```
<structural-specification>
```

```
<role-definitions>
```

```
<role id="reguladores" />
```

```
<role id="prefeito">
```

```
<extends role="reguladores" />
```

```
</role>
```

```
<role id="vereador">
```

```
<extends role="reguladores" />
```

```
</role>
```

```
</role-definitions>
```

```
<group-specification id="gorim_group">
```

```
<roles>
```

```
<role id="prefeito" min="1" max="1" />
```

```
<role id="vereador" min="1" max="1" />
```

```
</roles>
```

```
<formation-constraints>
```

```
<compatibility from="reguladores"
```

```
to="reguladores"
```

```
scope="intra-group" />
```

```
</formation-constraints>
```

```
</group-specification>
```

```
</structural-specification>
```

```
<functional-specification>
```

```
<scheme id="root_sch">
```

```
<goal id="g0">
```

```
<plan operator="parallel">
```

```
<goal id="g1">
```

```
<plan operator="sequence">
```

```
<goal id="g3">
```

```
<plan
```

```
operator="sequence">
```

```
<goal id="g5" />
```

```
<goal id="g6" />
```

```

        <goal id="g7" />
    </plan>
</goal>
    <goal id="g4" />
</plan>
</goal>

<goal id="g2">
    <plan operator="sequence">
        <goal id="g8">
            <plan
operator="choice">
                <goal id="g11"
/>
                <goal id="g12"
/>
                <goal id="g13"
/>
            </plan>
        </goal>
        <goal id="g9" />
        <goal id="g10">
            <plan
operator="choice">
                <goal id="g14"
/>
                <goal id="g15"
/>
                <goal id="g16"
/>
            </plan>
        </goal>
    </plan>
</goal>

<mission id="m1" min="1" max="1">
    <goal id="g0" />
    <goal id="g1" />
    <goal id="g2" />
    <goal id="g3" />
    <goal id="g4" />
    <goal id="g5" />
    <goal id="g6" />
    <goal id="g7" />
    <goal id="g9" />
    <goal id="g10" />

```

```
        <goal id="g14" />
        <goal id="g15" />
        <goal id="g16" />
    </mission>

    <mission id="m2" min="1" max="1">
        <goal id="g8" />
        <goal id="g11" />
        <goal id="g12" />
        <goal id="g13" />
    </mission>

</scheme>
</functional-specification>

<normative-specification>
    <norm id="n1" type="obligation" role="prefeito"
mission="m1" />
    <norm id="n2" type="obligation" role="vereador"
mission="m2" />
</normative-specification>

</organisational-specification>
```

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<?xml-stylesheet href="http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsl"
type="text/xsl" ?>
```

```
<organisational-specification
  id="gorim_specification" os-version="0.8"
  xmlns='http://moise.sourceforge.net/os '
  xmlns:xsi='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance'
  xsi:schemaLocation='http://moise.sourceforge.net/os
```

```
http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsd'>
```

```
<structural-specification>
  <role-definitions>
    <role id="fiscalizadores" />
    <role id="produtores" />
    <role id="fiscal">
      <extends role="fiscalizadores" />
    </role>
    <role id="agricultor">
      <extends role="produtores" />
    </role>
  </role-definitions>

  <group-specification id="gorim_group">
    <roles>
      <role id="fiscal" min="1" max="1" />
      <role id="agricultor" min="1" max="1" />
    </roles>
    <formation-constraints>
      <compatibility from="produtores"
to="fiscalizadores"
          scope="intra-group" />
    </formation-constraints>
  </group-specification>
</structural-specification>
```

```
<functional-specification>
  <scheme id="root_sch">
    <goal id="g17">
      <plan operator="sequence">
        <goal id="g18">
          <plan operator="sequence">
            <goal id="g22" />
            <goal id="g23" />
            <goal id="g24" />
          </plan>
        </goal>
      </plan>
    </goal>
    <goal id="g19">
```

```

        <plan operator="parallel">
            <goal id="g25" />
            <goal id="g26">
                <plan
                    <goal id="g27"
                    <goal id="g28"
                </plan>
            </goal>
        </plan>
    </goal>
    <goal id="g20">
        <plan operator="sequence">
            <goal id="g29" />
            <goal id="g30">
                <plan
                    <goal id="g31"
                    <goal id="g32"
                </plan>
            </goal>
        </plan>
    </goal>
    <goal id="g21">
        <plan operator="sequence">
            <goal id="g33">
                <plan
                    <goal id="g34"
                    <goal id="g35"
                </plan>
            </goal>
            <goal id="g36">
                <plan
                    <goal id="g38"
                    <goal id="g39"
                    <goal id="g40"
                </plan>
            </goal>
        </plan>
    </goal>

```

```

</goal>
<goal id="g37">
  <plan
operator="parallel">
    <goal id="g41"
  <goal id="g42"
  </plan>
  </goal>
</plan>
</goal>
</mission>
<mission id="m3" min="1" max="1">
  <goal id="g17" />
  <goal id="g18" />
  <goal id="g22" />
  <goal id="g23" />
  <goal id="g24" />
  <goal id="g19" />
  <goal id="g25" />
  <goal id="g20" />
  <goal id="g29" />
  <goal id="g30" />
  <goal id="g31" />
  <goal id="g32" />
  <goal id="g21" />
  <goal id="g33" />
  <goal id="g34" />
  <goal id="g35" />
  <goal id="g36" />
  <goal id="g38" />
  <goal id="g39" />
  <goal id="g40" />
</mission>
<mission id="m4" min="1" max="1">
  <goal id="g26" />
  <goal id="g27" />
  <goal id="g28" />
  <goal id="g37" />
  <goal id="g41" />
  <goal id="g42" />
</mission>
</scheme>
</functional-specification>

```

```
    <normative-specification>
      <norm id="n1" type="obligation" role="fiscal"
mission="m3" />
      <norm id="n2" type="obligation" role="agricultor"
mission="m4" />
    </normative-specification>

</organisational-specification>
```

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<?xml-stylesheet href="http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsl"
type="text/xsl" ?>

<organisational-specification
  id="gorim_specification" os-version="0.8"

  xmlns='http://moise.sourceforge.net/os '
  xmlns:xsi='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance '
  xsi:schemaLocation='http://moise.sourceforge.net/os
http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsd'>

  <structural-specification>

    <role-definitions>
      <role id="produtores" />
      <role id="agricultor">
        <extends role="produtores" />
      </role>
      <role id="empresario">
        <extends role="produtores" />
      </role>
    </role-definitions>

    <group-specification id="gorim_group">
      <roles>
        <role id="agricultor" min="1" max="1" />
        <role id="empresario" min="1" max="1" />
      </roles>

      <formation-constraints>
        <compatibility from="produtores"
to="produtores"
          scope="intra-group" />
      </formation-constraints>

    </group-specification>
  </structural-specification>

  <functional-specification>
    <scheme id="root_sch"> <!-- concluir_producao -->
      <goal id="g43">

```



```

        </plan>
    </goal>
    <goal id="g57">
    </goal>
    </plan>
    </goal>
    </plan>
    </goal>
    <goal id="g46">
    <plan operator="choice">
    <goal id="g63" />
    <goal id="g64" />
    </plan>
    </goal>
    </plan>
</goal>

<mission id="m4" min="1" max="1">
    <goal id="g43" />
    <goal id="g44" />
    <goal id="g45" />
    <goal id="g46" />
    <goal id="g48" />
    <goal id="g52" />
    <goal id="g53" />
    <goal id="g54" />
    <goal id="g55" />
    <goal id="g56" />
    <goal id="g57" />
    <goal id="g58" />
    <goal id="g59" />
    <goal id="g60" />
    <goal id="g61" />
    <goal id="g62" />
    <goal id="g63" />
    <goal id="g64" />

</mission>
<mission id="m5" min="1" max="1">
    <goal id="g47" />
    <goal id="g49" />
    <goal id="g50" />
    <goal id="g51" />
</mission>
</scheme>
</functional-specification>

<normative-specification>

```

```
        <norm id="n1" type="obligation" role="agricultor"
mission="m4" />
        <norm id="n2" type="obligation" role="empresario"
mission="m5" />
    </normative-specification>

</organisational-specification>
```

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<?xml-stylesheet href="http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsl"
type="text/xsl" ?>
```

```
<organisational-specification
  id="gorim_specification" os-version="0.8"
  xmlns='http://moise.sourceforge.net/os '
  xmlns:xsi='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance'
  xsi:schemaLocation='http://moise.sourceforge.net/os
```

```
http://moise.sourceforge.net/xml/os.xsd'>
```

```
  <structural-specification>
    <role-definitions>
      <role id="fiscalizadores" />
      <role id="produtores" />
      <role id="fiscal">
        <extends role="fiscalizadores" />
      </role>
      <role id="agricultor">
        <extends role="produtores" />
      </role>
    </role-definitions>

    <group-specification id="gorim_group">
      <roles>
        <role id="fiscal" min="1" max="1" />
        <role id="agricultor" min="1" max="1" />
      </roles>
      <formation-constraints>
        <compatibility from="produtores"
to="fiscalizadores"
          scope="intra-group" />
      </formation-constraints>
    </group-specification>
  </structural-specification>
```

```
  <functional-specification>
    <scheme id="root_sch">
      <goal id="g65">
        <plan operator="sequence">
          <goal id="g66">
            <plan operator="sequence">
              <goal id="g68" />
              <goal id="g69" />
            </plan>
          </goal>
          <goal id="g67"/>
        </plan>
      </goal>
    </scheme>
  </functional-specification>
```

```
</goal>

<mission id="m5" min="1" max="1">
  <goal id="g65" />
  <goal id="g67" />
</mission>

<mission id="m4" min="1" max="1">
  <goal id="g66" />
  <goal id="g68" />
  <goal id="g69" />
</mission>

</scheme>
</functional-specification>

<normative-specification>
  <norm id="n1" type="obligation" role="fiscal"
mission="m5" />
  <norm id="n2" type="obligation" role="agricultor"
mission="m4" />
</normative-specification>

</organisational-specification>
```

Anexos

ANEXO A – Diagramas de Sequência do Jogo de RPG Gorim

Os diagramas de sequência a seguir representam a sequência das ações de cada personagem do Jogo Gorim.

Na Figura 58, o Prefeito tem como objetivo receber os impostos de outros jogadores, cuidar dos orçamentos e dos impostos de sua cidade, além de tomar medidas ambientais. Estas ações são representadas no diagrama e mostram o que cada ação engloba dentro do sistema.

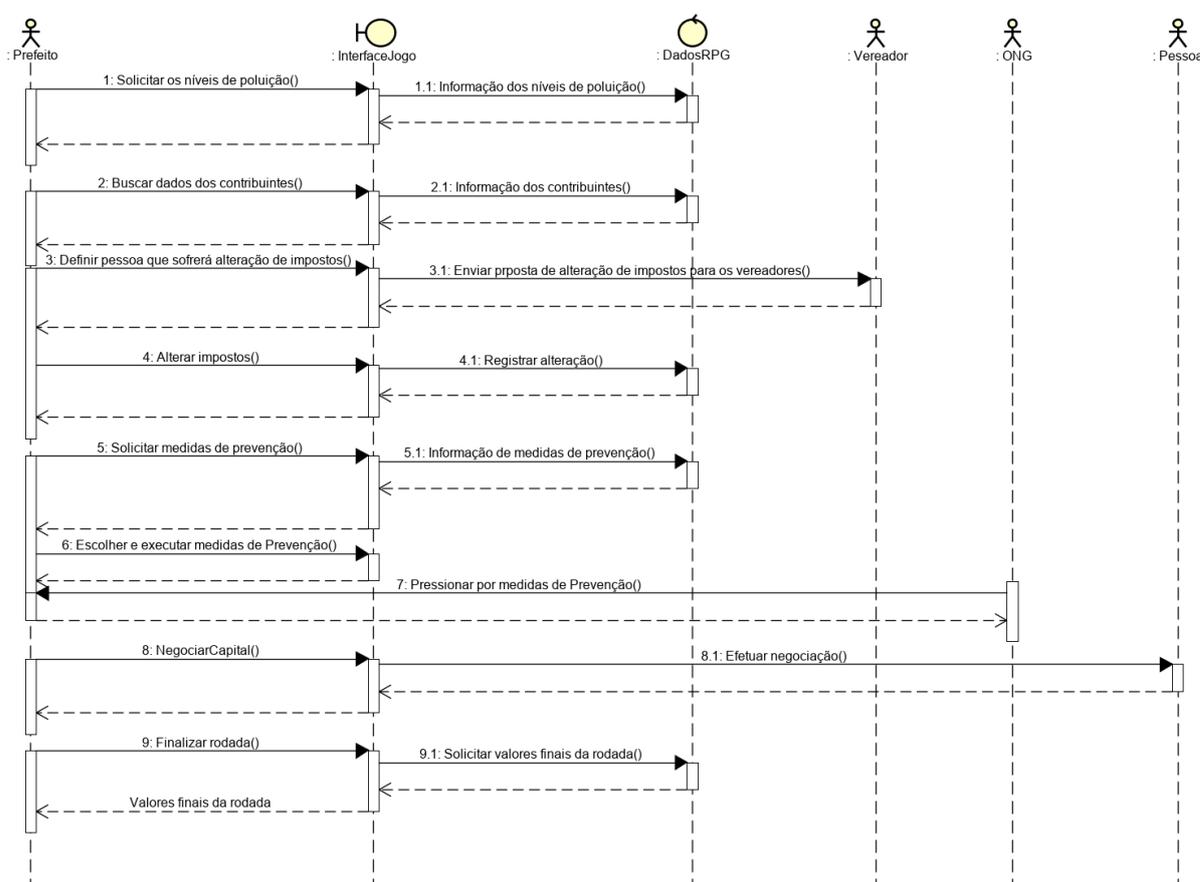


Figura 58 – Diagrama de Sequência do Prefeito.

Na Figura 59, o Vereador propõe alterações na taxa de imposto da sua cidade e encaminha a proposta para a avaliação do Prefeito.

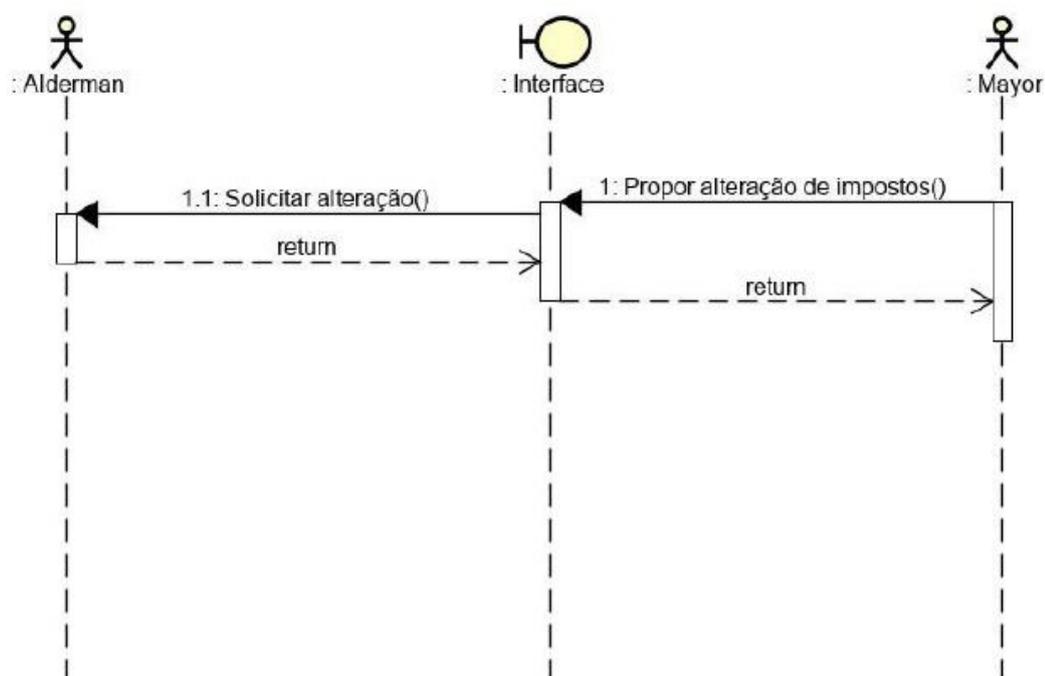


Figura 59 – Diagrama de Sequência do Vereador.

A ONG, conforme Figura 60, é responsável por enviar mensagens informativas aos agentes do sistema principalmente sobre a poluição do ambiente.

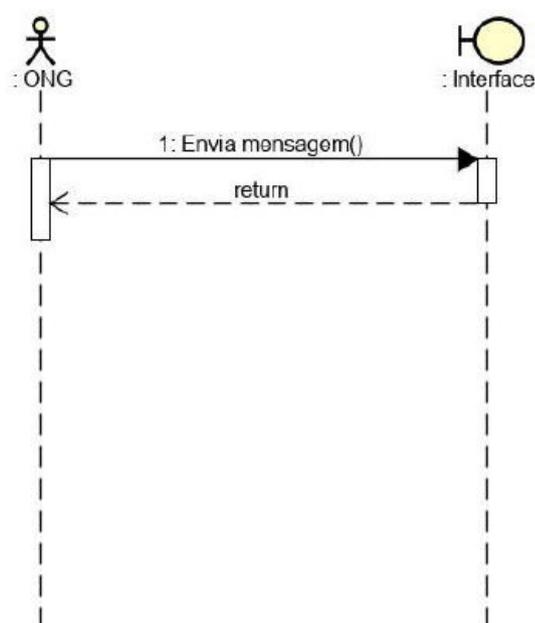


Figura 60 – Diagrama de Sequência da ONG.

Na Figura 61, o Fiscal Ambiental fiscaliza as propriedades e empresas dos Agricultores e dos Empresários podendo aplicar sanções relacionadas ao nível de poluição destes agentes, também pode pagar ou receber propina de todos os agentes do sistema.

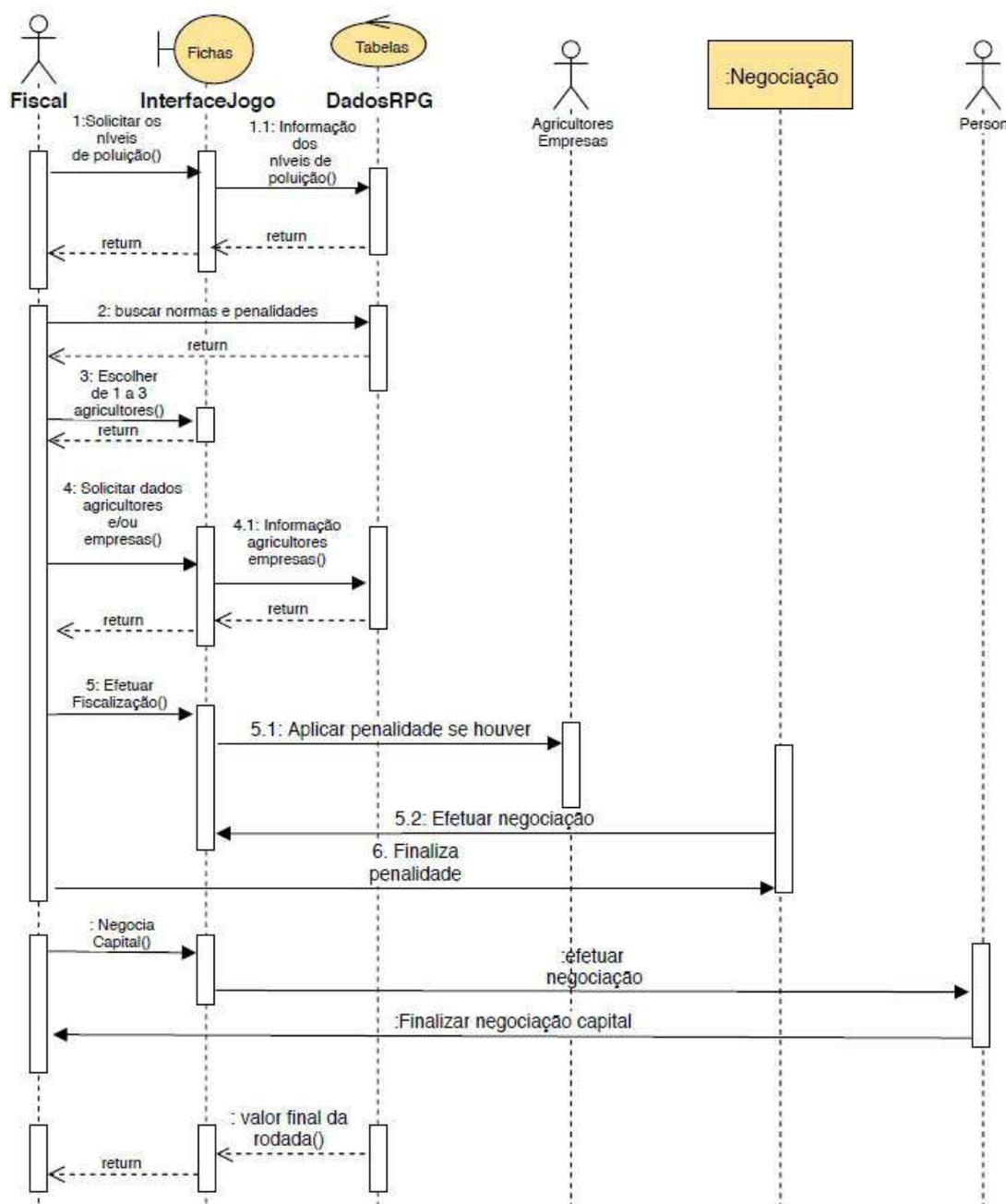


Figura 61 – Diagrama de Sequência do Fiscal Ambiental.

Na Figura 62, o Agricultor compra insumos para sua propriedade como sementes, fertilizantes, máquinas e agrotóxicos e ainda pode negociar propina com qualquer jogador do sistema.

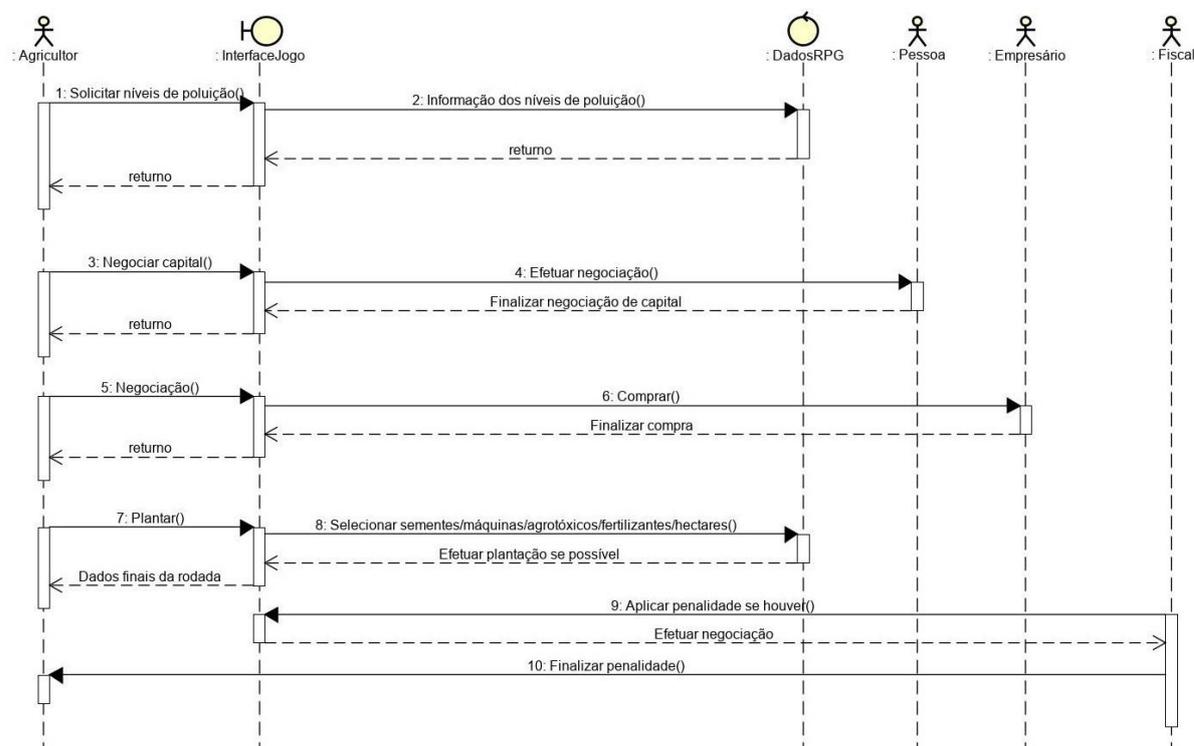


Figura 62 – Diagrama de Sequência do Agricultor.