

Modelagem da Estrutura Organizacional do Sistema Multiagente associado a um Jogo RPG no contexto de Recursos Hídricos

Míriam Blank Born¹, Marilton Sanchotene de Aguiar¹ e Diana F. Adamatti²

¹Programa de Pós-Graduação em Computação
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)
Pelotas – RS – Brasil

²Centro de Ciências Computacionais (C3)
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Rio Grande – RS – Brasil

{marilton,mbborn}@inf.ufpel.edu.br, dianaada@gmail.com

Abstract. *Managing water resources presents numerous and complex challenges since it must guarantee water availability for various activities such as public supply and preservation of the environment. In this context, techniques such as role-playing games and multiagent systems show promise for problem-solving. This article presents as a case study an RPG game applied to the participatory management of water resources within the watershed of Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo. Furthermore, we modeled the agents belonging to this study as a multiagent organization composed of three groups of agents: regulators, producers, and inspectors. Also, we modeled the organization of the multiagent system in the MOISE⁺ tool, which integrates the JaCaMo platform for multiagent programming.*

Resumo. *A gestão de recursos hídricos apresenta inúmeros e complexos desafios visto que, deve garantir a disponibilidade da água para as diversas atividades como o abastecimento público e a preservação do meio ambiente. Neste contexto, técnicas como jogos de RPG e também a utilização de sistemas multiagente mostram-se promissoras para a resolução de problemas. Este artigo apresenta como estudo de caso um jogo de RPG aplicado a gestão participativa dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. Além disso, os agentes pertencentes a este estudo são modelados como uma organização multiagente composta por três grupos de agentes: reguladores, produtores e fiscalizadores. A organização do sistema multiagente foi modelada na ferramenta MOISE⁺ a qual integra a plataforma JaCaMo para a programação multiagente.*

1. Introdução

Os recursos naturais são elementos indispensáveis na vida do ser humano e, por isso, é de extrema importância em nossa sociedade o gerenciamento destes recursos visando melhorar a maneira de gerenciar terras, águas, minerais, petróleo, florestas e animais [Darby 2010]. Com relação ao recurso hídrico, especificamente, o território

brasileiro dispõem de grandes bacias hidrográficas, no entanto, apresentando inúmeros conflitos relacionados à distribuição e compartilhamento da água [Brito et al. 2020, Born et al. 2019b].

Segundo [Fuller et al. 2007], os principais desafios computacionais no contexto da gestão de recursos naturais são: (a) gerenciamento e comunicação de dados, (b) análise de dados e (c) controle e otimização. Na busca de soluções que auxiliem neste cenário existem ferramentas computacionais que utilizam técnicas da Inteligência Artificial como Sistemas Multiagente (SMA), Redes Neurais, Algoritmos Genéticos, Autômatos Celulares, Inteligência de Enxames, dentre outros. Os modelos de simulação baseados em Agentes e em Sistemas Multiagente, por se apresentarem como técnicas bastantes flexíveis, destacam-se neste domínio onde se apresentam cenários complexos, como os sistemas sociais, ecológicos e políticas públicas, apresentando soluções adequadas e satisfatórias [Filatova et al. 2013].

Os jogos de papéis (RPG, acrônimo do termo em inglês, *Role-Playing Game*) compreendem outra técnica aplicada a diversos estudos [Adamatti 2007, Filatova et al. 2013, Page et al. 2000]. Neste tipo de jogo, 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 [Born 2022].

Desta forma, a utilização dos SMA produz bons resultados em um cenário onde é utilizado o RPG, na gestão de recursos hídricos. Quando utilizam-se os jogos de papéis (RPG) torna-se possível compor discussões, aprendizado e estratégias sobre um contexto específico e isso possibilita a tomada de decisões [Born 2022].

Este artigo tem o objetivo de apresentar parte da modelagem organizacional do Sistema Multiagente subjacente ao Jogo RPG Gorim, estudo de caso deste trabalho inicialmente apresentado em [Born et al. 2019a], mais especificamente a especificação estrutural da organização.

O artigo encontra-se organizado da seguinte forma, na Seção 2 é apresentado o referencial teórico de Sistemas Multiagente, Jogos de Papéis e do *framework* JaCaMo. Na Seção 3 é introduzido um panorama geral sobre a ferramenta \mathcal{MOISE}^+ com suas características, é apresentado o estudo de caso, bem como a modelagem de uma organização multiagente no \mathcal{MOISE}^+ . E por fim, a Seção 4 apresenta as conclusões e trabalhos futuros deste estudo.

2. Referencial Teórico

As aplicações que utilizam Sistemas Multiagente para modelagem e simulação no gerenciamento de recursos naturais são vistas como uma possibilidade efetiva na busca de soluções para estes problemas complexos pois apresentam benefícios como: (a) rapidez na resolução de problemas visto a inerência do processamento concorrente; (b) aumento da flexibilidade e escalabilidade através da conexão de vários sistemas; (c) aumento da capacidade de resposta a um determinado problema pelo fato de todos os recursos estarem localizados no mesmo ambiente; e, (d) a modularidade obtida mediante esta técnica [Alvares and Sichman 1997, Bordini et al. 2001].

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 and Norvig 2013].

Sendo assim, é relevante que os agentes de um sistema possuam três características: *cooperar, aprender e agir de maneira autônoma* de acordo com [Nwana 1996]. [Bordini et al. 2001] acrescentam ainda coordenação, competição e negociação como aspectos relevantes na concepção de agentes. A partir destas características, existem diferentes maneiras de classificar os agentes [Nwana 1996, Artero 2009, Coppin 2010], compreendendo-se basicamente em agentes reativos, agentes colaborativos, agentes de comunicação e agentes de aprendizado.

A arquitetura amplamente utilizada no desenvolvimento de SMA é a BDI (acrônimo para os termos em inglês *Beliefs, Desires, Intentions*), baseada em um modelo cognitivo que representam crenças, desejos e intenções [Hübner et al. 2004]. Para [Wooldridge 2002], *crenças* representam o que o agente sabe sobre si mesmo, dos demais agentes e o ambiente ao qual está inserido; *desejos* representam os estados que o agente almeja atingir, geralmente são objetivos; e, *intenções* são representadas pela sequência de ações que determinado agente executa para alcançar um objetivo.

Contudo, 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 and Norvig 2013, Rezende 2005, Luger 2013], diversas aplicações e algoritmos são apresentados de forma a exemplificar a busca de soluções para esta demanda crescente de problemas.

Os Jogos de Papéis ou RPG (*Role-Playing Game*) compreendem um tipo de jogo onde os jogadores “interpretam” um personagem, criado dentro de um determinado cenário ou ambiente. Esses personagens respeitam um sistema de regras, que serve para organizar suas ações, determinando os limites do que pode ou não ser feito [Born et al. 2019a].

Os jogos de papéis estão situados entre os jogos e o teatro e consistem numa técnica onde se determinam regras e comportamentos de jogadores, bem como um contexto imaginário (ambiente) [Adamatti 2007]. Assim, o RPG também é um meio de revelar alguns aspectos das relações sociais, permitindo a observação direta das interações entre os jogadores. Desse modo, em um RPG não há vencedores e perdedores, dado que possui aspecto de colaboração em vez de competição. Ao final, deve-se completar uma história construída a partir das regras do jogo, na busca dos objetivos individuais e/ou coletivos [Adamatti 2007].

Assim, os RPG são muito utilizados em treinamento, pois podem colocar os jogadores em situações de tomada de decisão similares às reais. Além disso, devido ao fator lúdico envolvido nos jogos, fazem com que o treinamento e/ou aprendizagem de determinado assunto seja facilitado [Born et al. 2019a].

O *framework* de programação multiagente JaCaMo [Boissier et al. 2016] tem sido desenvolvido ao longo dos anos e integra as plataformas Jason [Bordini et al. 2007], utilizado no desenvolvimento de agentes autônomos; CArTAgo [Ricci et al. 2011], aplicado

no desenvolvimento de ambientes compartilhados; e, o *MOISE⁺* [Hübner et al. 2007] desenvolvido para a modelagem de organizações multiagente.

Em JaCaMo consideram-se três dimensões: agente, ambiente e organização, com intuito de facilitar ao desenvolvedor a modelagem e implementação de sistemas multiagente complexos [Thomasi 2014]. A partir da integração de ferramentas, composta pelos agentes, ambiente, interação e organização, oferece um recurso para a escalabilidade de aplicativos complexos permitindo assim sua distribuição em diversos nós. Em Jason, interpretador para a linguagem *AgentSpeak-L*, é possível programar o comportamento do agente de acordo com uma abordagem declarativa, baseada em lógica e arquitetura BDI.

O CArtaGo possui artefatos especiais possibilitando o gerenciamento da estrutura do ambiente e permite que os agentes gerenciem o ciclo de vida do ambiente de trabalho e interajam com o ambiente externo através de serviços disponíveis como: criar, destruir, ingressar e sair de áreas de trabalho locais ou remotas. O *MOISE⁺*, onde estrutura organizacional é concebida, possui três dimensões: a estrutura (papéis), o funcionamento (planos globais) e as normas (obrigações) da organização multiagente. Considerando que a visão da organização centraliza-se no sistema, as normas pertencentes à esta são externas aos agentes e podem ser consultadas por estes.

Na literatura, inúmeras pesquisas buscam e apresentam soluções viáveis e interessantes no contexto de gerenciamento de recursos naturais com técnicas de SMA e RPG. Nestes casos, o RPG auxilia na busca por soluções compartilhadas entre partes de determinado sistema e também na tomada de decisão sobre aspectos importantes [Born 2022].

No trabalho [Farias et al. 2019] foi realizada uma revisão sistemática sobre as áreas de gestão de recursos naturais, sistemas multiagente e jogos de papéis verificando-se quatro formas de integração entre RPG e SMA. Em [Adamatti et al. 2009], a partir da integração entre RPG e SMA foi desenvolvida a metodologia GMABS para a implementação de dois protótipos, o jogo JogoMan de RPG jogado em sessões presenciais e o ViP-JogoMan com inserção de jogadores virtuais.

Em [Farolfi et al. 2010] foi proposto uma metodologia detalhada para formalizar e sistematizar as fases de modelagem do SMA desenvolvido chamado KatAWARE no estudo de caso da bacia hidrográfica de Kat River. No estudo de [Le Page et al. 2014] a modelagem SMA desenvolvida buscou investigar a interação entre os agricultores/produtores de arroz, a disponibilidade de água e terra para esta produção do nordeste da Tailândia. De acordo com a pesquisa de [Le Page et al. 2016] foi criado o jogo de RPG ReHab com o objetivo de introduzir as principais ideias de gestão natural para os alunos nos primeiros anos de um curso de pós-graduação na área. Com o jogo, os desenvolvedores concluíram que os jogadores, neste caso os estudantes, conseguiram modelar, aprender e refletir sobre as respostas do sistema socioecológico de forma individual ou coletiva, considerando vários regimes de gerenciamento.

3. Modelagem da Organização

A modelagem deste estudo de caso baseia-se na representação das interações básicas entre os papéis do sistema e a atuação destes no ambiente, de acordo com a especificação proposta em [Born et al. 2019a]. No estudo, os agentes são classificados de acordo com os papéis que assumem e são divididos em três grupos principais (reguladores, fiscalizadores ou produtores), conforme Figura 1.

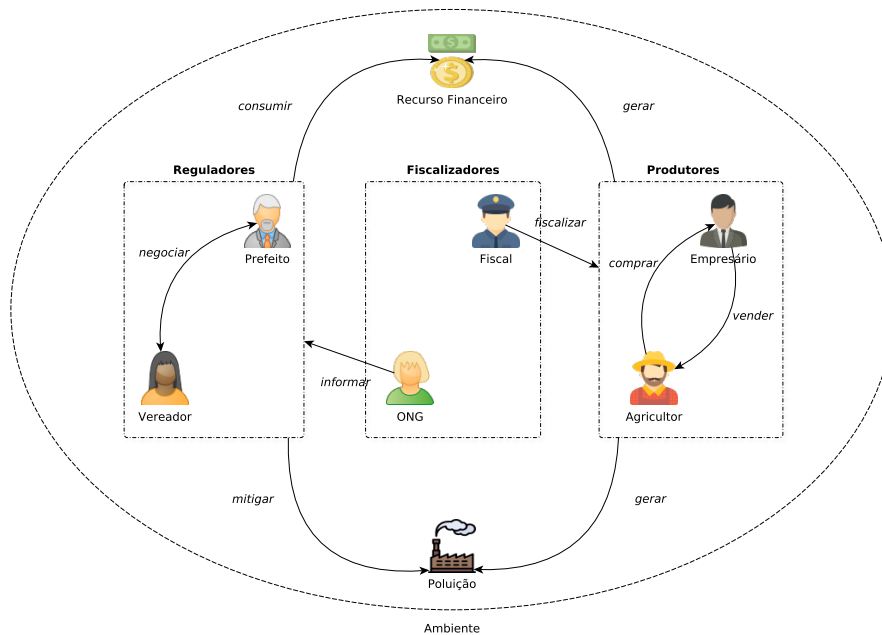


Figura 1. Diagrama de Integração do modelo proposto [Born et al. 2019a].

De acordo com [Born 2022], 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. É relevante salientar que todos os papéis podem interagir neste sistema.

A ferramenta *MOISE⁺* (do inglês, *Model of Organization for multi-agent SystEms*), que integra a plataforma JaCaMo, caracteriza-se por ser um modelo organizacional para sistemas multiagente composto de três dimensões: (a) *estrutural*, constituída pelos grupos, papéis e ligações; (b) *funcional*, englobando planos globais, metas e missões; e, (c) *normativa* ou *deôntica*, a qual define as obrigações e permissões dos agentes. Em [Hübner et al. 2010] encontra-se um amplo tutorial com a conceitualização e exemplos de utilização do *MOISE⁺*.

No desenvolvimento deste trabalho, elaborou-se a especificação estrutural da organização para este estudo de caso, conforme Figura 2, a partir do diagrama de interação da Figura 1. 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* e possuem interação bilateral. Ainda, cada grupo e papel possuem as cardinalidades correspondentes, sendo que esta elaboração baseou-se no trabalho de [Hübner et al. 2002] com as devidas adaptações ao contexto deste estudo.

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*. A *ONG* é responsável por informar aos

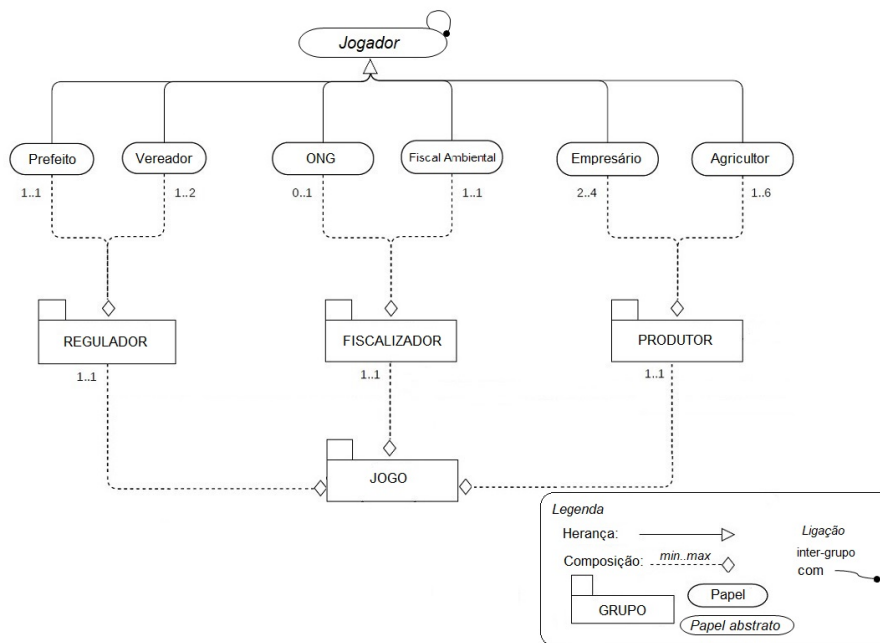


Figura 2. Especificação Estrutural da Organização para o modelo proposto.

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. Na modelagem do estudo de caso e é obrigatório pelo menos um fiscal ambiental. No grupo *Produtor* o agente pode assumir o papel de *empresário* (no mínimo 1 e no máximo 4) ou *agricultor* (no mínimo 1 e no máximo 6). Por fim, o grupo *Jogo* deve conter pelo menos um grupo de cada um dos demais.

Na modelagem da Especificação Funcional 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 3, 4 e 5, bem como a proposta de propina na Figura 6, que pode ser negociada, ou seja, transferida e/ou recebida entre quaisquer papéis do sistema.

A Figura 3 apresenta a especificação funcional do grupo dos *Reguladores*. Esta árvore de decomposição representa todas as ações que podem ser assumidas pelos dois papéis de *prefeito* e *vereador*. Neste caso, para concluir o objetivo raiz da árvore g_0 - *Concluir medidas regulatórias*, g_1 - *Realizar tratamentos* e g_2 - *Regulamentar taxas* as ações podem ser realizada em paralelo.

Na Figura 4 para concluir o objetivo g_{18} - *Contatar produtor* as ações g_{22} - *Localizar produtor*, g_{23} - *Ir a propriedade* e g_{24} - *Falar com o produtor* são realizadas em sequência.

Na Figura 5 para concluir o objetivo g_{16} - *Solicitar selo verde* é realizada uma seleção entre as ações g_{63} - *Requisitar selo verde* ou g_{64} - *Não requisitar selo verde*.

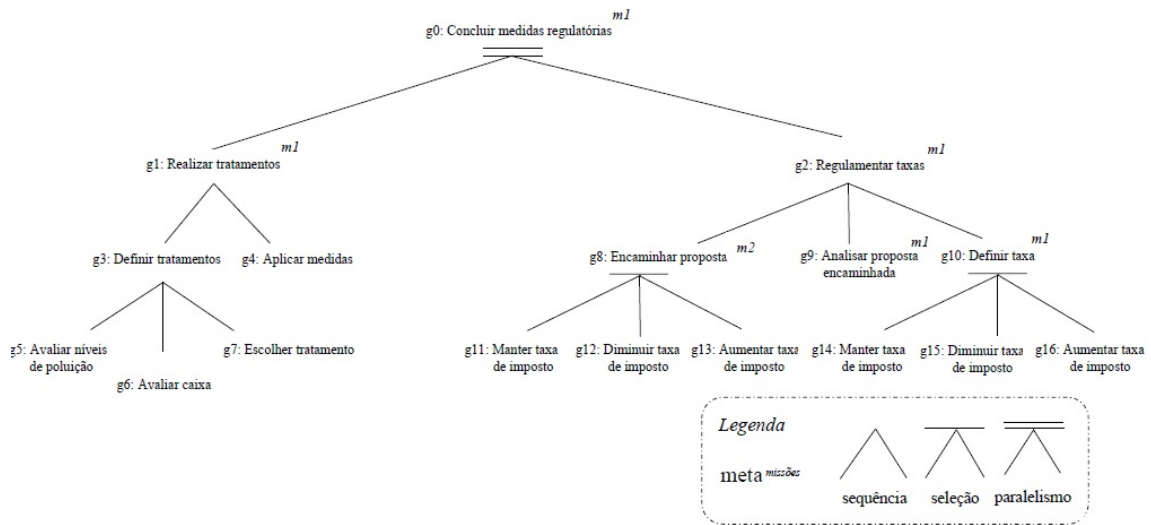


Figura 3. Especificação funcional do grupo dos *Reguladores*.

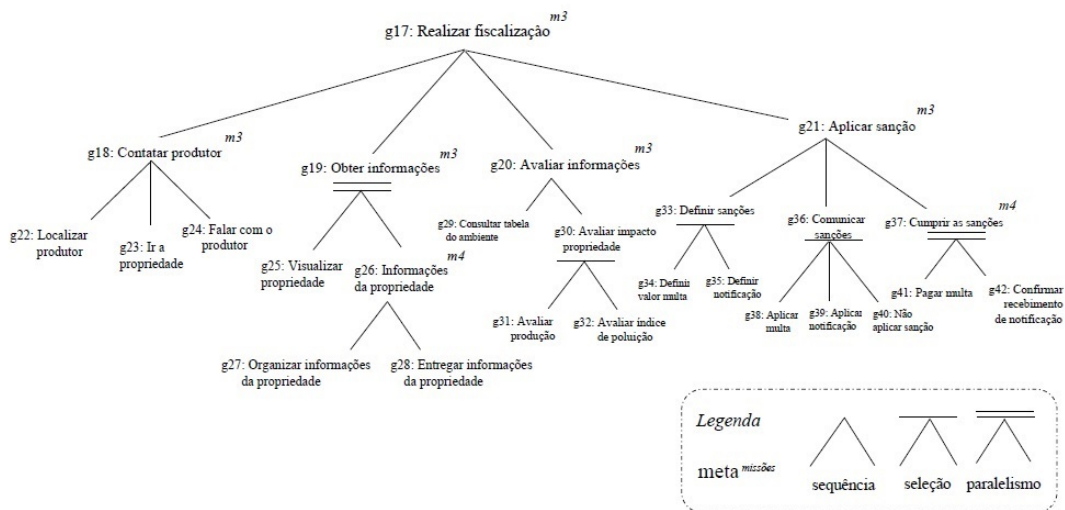


Figura 4. Especificação funcional do grupo dos *Fiscalizadores*.

A Figura 6 apresenta a dinâmica da obtenção de propina que pode ser negociada e transferida entre quaisquer agentes do sistema.

Na Especificação Deontica (ED) ou Normativa têm-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 [Born 2022]. Por uma questão de espaço serão apresentadas algumas ED do sistema desenvolvido. Desta forma, as ED da Propina (todos os grupos, na Tabela 1) e dos grupos Regulador (Prefeito na Tabela 2 e Vereador na Tabela 3).

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

O gerenciamento de recursos naturais mostrou-se, ao longo dos anos, de grande importância. Desta forma, a aplicação de SMA e de um *framework* que permita a

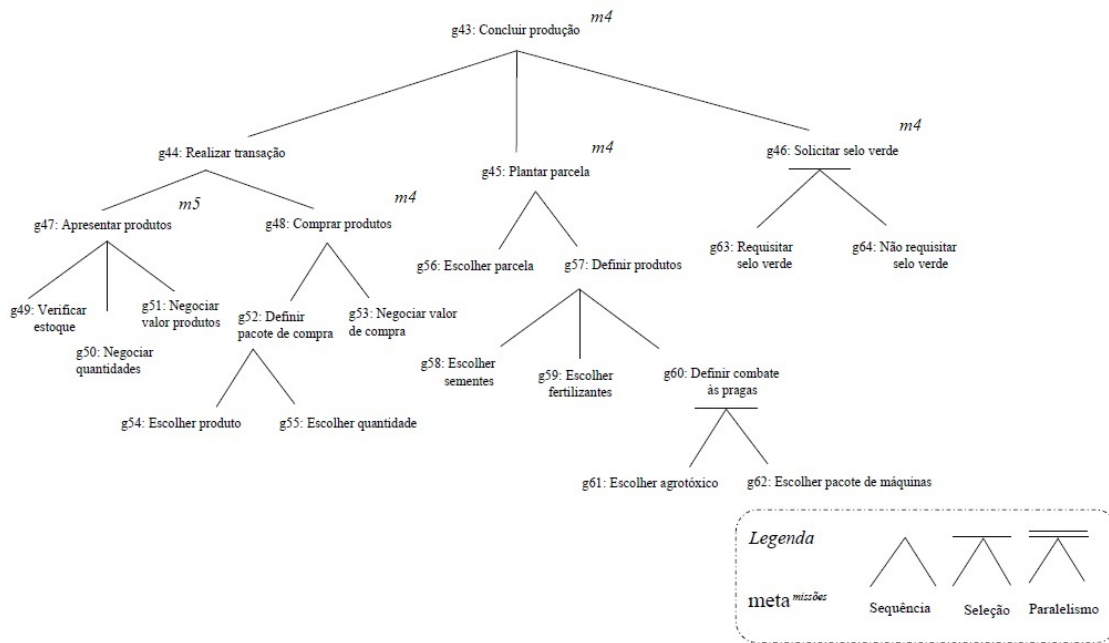


Figura 5. Especificação funcional do grupo dos Produtores.

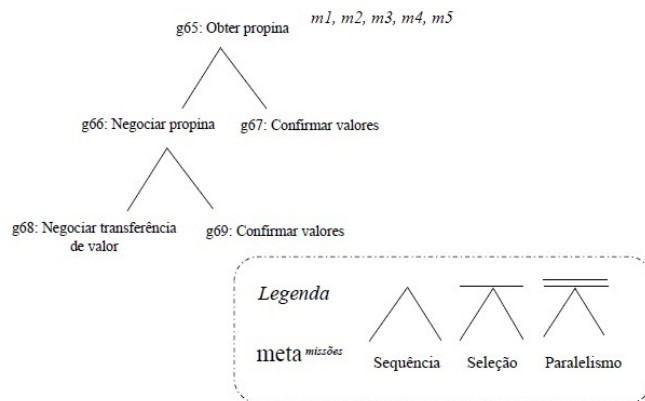


Figura 6. Especificação funcional da propina geral a todos os grupos.

Tabela 1. 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	$[g_{65}], [g_{66}], [g_{67}], [g_{68}], [g_{69}]$ $g_{65} = g_{66}, g_{67}$ $g_{66} = g_{68}, g_{69}$

especificação da organização do sistema e sua implementação de forma integrada, pode fornecer resultados promissores.

Tabela 2. 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 3. Missões e Planos do grupo Regulador -- Vereador.

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

A modelagem da organização deste estudo é complexa, devido aos inúmeros aspectos envolvidos, tais como: as especificações devem ser bem definidas de todos os papéis que os agentes podem assumir, bem como suas metas e relacionamentos, troca de mensagem e ambiente.

Neste artigo apresentou-se a modelagem de um sistema multiagente de uma organização no contexto de estudo dos recursos hídricos. O estudo de caso no qual baseou-se este trabalho, apresenta de forma definida, através do diagrama de interação (Figura 1), a modelagem do sistema para a região de uma bacia hidrográfica. É importante salientar também que, o foco deste trabalho foi mostrar o estudo de caso e a modelagem da organização nas especificações estrutural e funcional.

Desta forma, o *framework* JaCaMo fornece os subsídios necessários para uma completa especificação, modelagem, implementação e simulação de cenários que permitam um maior entendimento do problema em questão e de análise de estratégias tomadas pelos agentes do sistema quando assumem determinado papel.

Como trabalhos futuros pretende-se, a partir desta modelagem do sistema multiagente da organização na ferramenta \mathcal{MOISE}^+ , implementar e integrar todo o sistema no

Tabela 4. 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	$[g_{17}], [g_{18}], [g_{19}], [g_{20}], [g_{21}], [g_{22}], [g_{23}], [g_{24}], [g_{25}], [g_{29}], [g_{30}], [g_{31}], [g_{32}], [g_{33}], [g_{34}], [g_{35}], [g_{36}], [g_{38}], [g_{39}], [g_{40}]$ $g_{17} = g_{18}, g_{19}, g_{20}, g_{21}$ $g_{18} = g_{22}, g_{23}, g_{24}$ $g_{19} = g_{25} \parallel g_{26}$ $g_{20} = g_{29}, g_{30}$ $g_{30} = g_{31} \mid g_{32}$ $g_{21} = g_{33}, g_{36}, g_{37}$ $g_{33} = g_{34} \mid g_{35}$ $g_{36} = g_{38} \mid g_{39} \mid g_{40}$

framework JaCaMo com a versão *web* do jogo de RPG Gorim desenvolvido na linguagem de programação Java no trabalho [Martins 2021].

Referências

- Adamatti, D. F. (2007). *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*. PhD thesis, Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. doi:10.11606/T.3.2007.tde-07012008-154915.
- Adamatti, D. F., Sichman, J. S., and Coelho, H. (2009). An analysis of the insertion of virtual players in GMABS methodology using the ViP-JogoMan prototype. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(3).

- Alvares, L. O. and Sichman, J. S. (1997). Introdução aos sistemas multiagentes. In *XVII Congresso da SBC-Anais JAI'97*.
- Artero, A. O. (2009). *Inteligência Artificial: Teoria e Prática*. Editora Livraria da Física, São Paulo/SP, 1a edition.
- Boissier, O., Hübner, J. F., and Ricci, A. (2016). The jacamo framework. In *Social coordination frameworks for social technical systems*, pages 125–151. Springer.
- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Wooldridge, M. (2007). *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason*, volume 8. John Wiley & Sons.
- Bordini, R. H., Vieira, R., and Moreira, A. F. (2001). Fundamentos de sistemas multiagentes. In *Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC2001)*, volume 2, pages 3–41.
- Born, M., Leitzke, B., Farias, G., Melo, M., Gonçalves, M., Rodrigues, P., Martins, V., Barbosa, R., Aguiar, M., and Adamatti, D. (2019a). Sistema multiagente para gestão de recursos hídricos: Modelagem da bacia do são gonçalo e da lagoa mirim. In *Anais do X Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, pages 87–96, Belém/PA. SBC, sol.sbc.org.br.
- Born, M., Leitzke, B. S., Farias, G., Aguiar, M., and Adamatti, D. F. (2019b). Modelagem baseada em agentes para análise de recursos hídricos. In *Anais do XIII Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicaCoes (WESAAC 2019)*, pages 107–118, Florianópolis/SC. wesaac.c3.furg.br.
- Born, M. B. (2022). *Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG: estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades*. Tese (doutorado em computação), Centro de Desenvolvimento Tecnológico – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS/Brasil.
- Brito, A. D., Lopes, J. C., and dos Anjos Neta, M. M. S. (2020). Tripé da governança: Poder público, setor privado e a sociedade civil em busca de uma gestão integrada dos recursos hídricos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(4):506–522.
- Coppin, B. (2010). *Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: LTC, 3a edition.
- Darby, S. (2010). Natural resource governance: New frontiers in transparency and accountability. *Transparency Accountability Initiative*.
- Farias, G., Leitzke, B., Born, M., Aguiar, M., and Adamatti, D. F. (2019). Systematic review of natural resource management using multiagent systems and role-playing games. *Research in Computing Science*, 148(11):91–102.
- Farolfi, S., Müller, J.-P., and Bonté, B. (2010). An iterative construction of multi-agent models to represent water supply and demand dynamics at the catchment level. *Environmental Modelling & Software*, 25(10):1130–1148.
- Filatova, T., Verburg, P. H., Parker, D. C., and Stannard, C. A. (2013). Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects. *Environmental modelling & software*, 45:1–7.
- Fuller, M. M., Wang, D., Gross, L. J., and Berry, M. W. (2007). Computational science for natural resource management. *Computing in Science & Engineering*, 9(4):40.

- Hübner, J. F., Bordini, R. H., and Vieira, R. (2004). Introdução ao desenvolvimento de sistemas multiagentes com jason. *XII Escola de Informática da SBC*, 2:51–89.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2002). Moise+ towards a structural, functional, and deontic model for mas organization. In *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, pages 501–502.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2007). Developing organised multiagent systems using the moise+ model: programming issues at the system and agent levels. *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, 1(3/4):370–395.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2010). Moise+ tutorial.
- Le Page, C., Dray, A., Perez, P., and Garcia, C. (2016). Exploring how knowledge and communication influence natural resources management with ReHab. *Simulation & Gaming*, 47(2):257–284.
- Le Page, C., Naivinit, W., Trébuil, G., and Gajaseni, N. (2014). 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*, pages 207–221. Springer, New York/USA.
- Luger, G. F. (2013). *Artificial intelligence : structures and strategies for complex problem solving*. Addison-Wesley, Boston, Massachusetts, EUA, 6a edition.
- Martins, V. B. (2021). Gorimweb: um rpg para gestão de recursos hídricos na plataforma web. Dissertação (mestrado em engenharia da computação), Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.
- Nwana, H. S. (1996). Software agents: An overview. *The knowledge engineering review*, 11(3):205–244.
- Page, C. L., Bousquet, F., Bakam, I., Bah, A., and Baron, C. (2000). CORMAS : A multiagent simulation toolkit to model natural and social dynamics at multiple scales. In *Wageningen : Resource Modeling Association*.
- Rezende, S. O. (2005). *Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações*. Editora Manole Ltda, Barueri/SP, 1a edition.
- Ricci, A., Piunti, M., and Viroli, M. (2011). Environment programming in multi-agent systems: an artifact-based perspective. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 23(2):158–192.
- Russell, S. and Norvig, P. (2013). *Inteligência Artificial*. Elsevier Ltda, Rio de Janeiro/RJ, 3a edition.
- Thomasi, C. D. (2014). Orias: uma infraestrutura de nível micro-organizacional baseada em artefatos para sistemas multiagentes. Master’s thesis, Programa de Pós-Graduação em Computação, UFRGS, Porto Alegre/RS.
- Wooldridge, M. (2002). An introduction to multi agent systems, department of computer science, university of liverpool, uk.