

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**JOGOS DE REPRESENTAÇÃO DE PAPÉIS E MODELAGEM
BASEADA EM AGENTES PARA GESTÃO HÍDRICA
COLABORATIVA EM COMUNIDADES PERIURBANAS.**

DANDARA JUCÁ KOKAY MARIANO

ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM - 220/2019

BRASÍLIA/DF: JULHO – 2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOGOS DE REPRESENTAÇÃO DE PAPÉIS E MODELAGEM
BASEADA EM AGENTES PARA GESTÃO HÍDRICA COLABORATIVA
EM COMUNIDADES PERIURBANAS.**

DANDARA JUCÁ KOKAY MARIANO

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof^ª Conceição de Maria Albuquerque Alves, PhD (ENC-UnB)
(Orientadora)**

**Prof. Ricardo Tezini Minoti, Dr. (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**Emilie Suzanne Coudel, Dr^a. (CIRAD)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 17 DE JULHO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

MARIANO, DANDARA JUCÁ KOKAY.

Jogos de Representação de Papeis e Modelagem Baseado em Agentes para Gestão Hídrica Colaborativa em Comunidades Periurbanas. [Distrito Federal] 2019.

137p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2019).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Modelagem baseada em agentes

2. Jogos de representação de papéis

3. Sócio-hidrologia

4. Assentamento rural

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARIANO, D. J. K. (2019). Jogos de Representação de Papeis e Modelagem Baseado em Agentes para Gestão Hídrica Colaborativa em Comunidades Periurbanas, Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-220/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 137p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Dandara Jucá Kokay Mariano.

TÍTULO: Jogos de Representação de Papeis e Modelagem Baseado em Agentes para Gestão Hídrica Colaborativa em Comunidades Periurbanas.

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Dandara Jucá Kokay Mariano

Quadra 204 lote nº06, Praça Pardal.

71939-540

Distrito

Federal

–

DF

-

Brasil.

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, Mônica e Eduardo,
Ao meu irmão, Luiz Eduardo,
Ao meu noivo, Felipe.**

AGRADECIMENTOS

A vida é feita de escolhas e ter pessoas ao seu lado que tornam os caminhos mais difíceis em momentos de aprendizagem e evolução devem ter o merecido reconhecimento. Por esse motivo, gostaria de agradecer primeiramente ao meu núcleo familiar, Mônica (mãe), Eduardo (pai) e Luiz Eduardo (irmão) pelo apoio e o amor incondicional refletido em pequenos atos diários. Sem vocês essa conquista não seria possível. Também gostaria de agradecer meu noivo e futuro esposo Felipe, por todo o carinho, companheirismo e paciência. Sempre disposto a ajudar e a entender as dificuldades atreladas à conclusão de um mestrado. O imenso amor que tenho pelas pessoas supracitadas ajudou em todo o processo de conclusão dessa dissertação.

Também gostaria de agradecer a minha orientadora, professora Conceição de Albuquerque, por todo o suporte técnico-científico, pela credibilidade e por sempre acreditar no meu potencial. Obrigada pela confiança e por descobrir/mostrar um caminho novo e desafiador, traçando-o junto a mim e, conseqüentemente, saindo de sua zona de conforto. Sem você essa dissertação não seria possível.

Agradeço também ao Christophe Le Page, pesquisador do Cirad e colaborador do PTARH/UnB, por todo o suporte, dedicação e comprometimento. Ao Benoit Gaudou, professor assistente da Universidade de Toulouse e desenvolvedor da plataforma GAMA, pelo suporte no desenvolvimento do modelo, pela paciência e solicitude. À Emilie Coudel, pesquisadora do Cirad, por todo o auxílio na parte direcionada aos jogos de representação de papéis, além de sua alegria e disposição em ajudar.

Além disso, também gostaria de agradecer aos agricultores e agricultoras do Assentamento Canaã que me receberam de portas abertas. Em especial, ao Flávio e a Tânia, que articularam de forma ímpar com os demais agricultores a realização das sessões do jogo de representação de papéis.

Gostaria de agradecer a Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal – FAPDF pelo financiamento para a participação no curso de curta duração “*Designing, Implementing and Running Agent-Based Models for Renewable Resources Management*” (MISS-ABMS 2018), realizado no campus Agropolis International, em Montpellier, França. Além disso, também gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo auxílio financeiro ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa por meio de seus programas de bolsa.

Não poderia faltar um agradecimento aos meus amigos e amigas por todo o cuidado, apoio, acolhimento, aconselhamento e compreensão. Yasmin Lobo, Gustavo Tozetti, Marina Araújo, Cinara Marcela Viana, Mayra Rocca e, em especial, Marina Mendonça e Flávia Quirino por todo o suporte na segunda sessão da dinâmica proposta na metodologia. Amo todos e todas vocês! Também gostaria de agradecer aos meus colegas de mestrados, Tadeu Mendonça, Ramon Barros, Deborah Cardoso e Vanesa Londoño pelos conselhos, dicas e apoio, muito sucesso para todos nós.

RESUMO

JOGOS DE PAPÉIS E MODELAGEM BASEADA EM AGENTES PARA GESTÃO HÍDRICA COLABORATIVA EM COMUNIDADES RURAIS.

Os sistemas ambientais associados à gestão de recursos hídricos têm sido representados na modelagem tradicionalista com foco nos processos físicos. Com a intenção de conceber uma representação mais abrangente e dinâmica dos sistemas ambientais e hídricos, um novo tipo de simulação tem evoluído e inclui parte fundamental do sistema, os agentes e seus processos sociais. No intuito de realizar esse tipo de simulação, duas etapas são essenciais, o entendimento sobre o comportamento do agente e os fatores influenciadores na sua tomada de decisão e a representação do sistema por meio da modelagem baseada em agentes. Nessa perspectiva, no primeiro momento, o presente trabalho utilizou um jogo de representação de papéis voltado à gestão hídrica, o WaDiGa, com o objetivo de avaliar um possível mapeamento do comportamento de pequenos produtores rurais do Assentamento Canaã, região rural do Distrito Federal, em relação ao uso da água e de servir como uma plataforma de diálogo entre os agentes. Na segunda parte da metodologia, foi desenvolvido um modelo baseado em agente na plataforma GAMA, que teria a função de representar o comportamento dos agentes e suas consequências no ambiente por meio de uma simulação baseada em agentes. Após a aplicação da metodologia proposta, pôde-se concluir que o jogo aplicado conseguiu identificar fatores que influenciam a tomada de decisão dos atores locais, tais como, fatores monetários, proximidade com o corpo hídrico e os níveis de precipitação. Além disso, pode-se observar que o jogo cumpre a função de plataforma de diálogo e discussão sobre a temática de uso de recursos hídricos, podendo, assim, também ser utilizada como uma ferramenta de educação ambiental e de modelagem sócio hidrológica. Já o modelo baseado em agentes implementado na plataforma GAMA conseguiu, de forma satisfatória, representar a relação entre a produção agrícola da comunidade estudada e o uso da água, apresentando resultados semelhantes aos resultados obtidos no jogo WaDiGa. No quesito quantitativo, as culturas irrigáveis se sobressaíram em períodos caracterizados por alta no mercado, extinguindo de forma rápida a quantidade de água presente no sistema. Outro resultado notório foi à urbanização presente no sexto cenário, o qual apresentava baixos níveis de precipitação e um mercado ruim.

ABSTRACT

THE APPLICATION OF ROLE-PLAYING GAMES AND AGENT-BASED MODELLING TO DEVELOP A COLLABORATIVE WATER MANAGEMENT IN A RURAL COMMUNITY.

In traditional modelling, the environmental systems associated with water resources management have always been represented through physical factors and processes. In order to devise a more comprehensive and dynamic representation of environmental and water systems, a new type of simulation emerges and encompasses a fundamental part of the system, agents and their social processes. Concerning to perform of this type of simulation, two steps are essential. The first one is the agent behaviour understanding and the influencing of external factors in the agent decision-making. The second one is the system representation through an agent-based model. In this perspective, in the first methodology moment, it was used the WaDiGa water management role-playing game intended to map the rural producers' behaviour of the Canaan Settlement, a Federal District rural region. Another purpose to use the game was evaluated the WaDiGa as a platform for dialogue between agents. In the second part of the methodology, an agent-based model was developed in the GAMA platform intended to represent the agents' behaviour and its consequences in the environment configuration. After applying the proposed methodology, it was concluded that the WaDiGa was able to identify factors that influence the local agents' decision-making. In addition, it could be observed that the game fulfils the function of a dialogue platform on the water resource theme, and could therefore be used as a tool for environmental education and socio-hydrological modelling. The agent-based model implemented in the GAMA platform was able to represent the relationship between the agricultural production of the community and the water use, presenting results similar to the results obtained in the WaDiGa game. In the quantitative aspect, the irrigable crops stood out in periods characterized by good market, extinguishing the amount of water present in the system. Another notable result was the urbanization present in the sixth scenario, which had low levels of precipitation and a poor market.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEXOS	5
3.2 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS APLICADAS A SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEXOS.....	8
3.3 MODELOS BASEADOS EM AGENTE COMO FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES.	14
3.3.1 Definição e propriedade de agentes em modelos baseados em agentes	18
3.3.2 Protocolo ODD - Overview, Design concepts and Details	22
3.4 PLATAFORMAS DE MODELAGEM BASEADA EM AGENTES	24
3.4.1 NetLogo	25
3.4.2 CORMAS (COmmon-pool Resources and Multi-Agent Systems)	26
3.4.3 GAMA (GIS Agent-based Modeling Architecture)	27
3.5 APLICAÇÕES DE MODELOS BASEADOS EM AGENTE PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	33
3.6 MODELAGEM PARTICIPATIVA	36
3.6.1. Modelagem participativa por meio do método <i>Companion Modelling</i> (ComMod)	38
4. METODOLOGIA.....	46
4.1 BACIA DO DESCOBERTO	47
4.2 ASSENTAMENTO CANAÃ.....	53
4.3 PRIMEIRA FASE DO MODELO CONCEITUAL	56
4.4 JOGO DE REPRESENTAÇÃO DE PAPÉIS: WADIGA	63
4.3.1 Primeira sessão do jogo WaDiGa	64
4.3.2 Segunda sessão do jogo WaDiGa	72
4.5 SEGUNDA FASE DO MODELO CONCEITUAL	76
4.6 ELABORAÇÃO DO PROTOCOLO ODD	80
4.5.1 Propósito	80

4.5.2 Entidades, variáveis de estado e escalas	80
4.5.3 Síntese e etapas do processo	81
4.5.4 Conceitos de Design.....	82
4.5.5 Inicialização	83
4.5.6 Entrada de dados.....	83
4.5.7 Submodelos	83
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
5.1 RESULTADOS OBTIDOS NO WADIGA.....	85
5.1.1 Resultados e discussão relacionados à primeira sessão do jogo WaDiGa.....	85
5.1.2 Resultados e discussão relacionados à segunda sessão do jogo WaDiGa	94
5.2 RESULTADOS OBTIDOS PELO MODELO BASEADO EM AGENTES	100
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	115
SUGESTÕES RECOMENDAÇÕES	117
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	118
APÊNDICE A – PROTOCOLO ODD.....	127
PROTOCOLO ODD.....	127
Propósito	127
Entidades, variáveis de estado e escala.....	127
Síntese e etapas do processo	131
Conceitos de Design.....	132
Inicialização	132
Submodelos	133
ANEXO I	136
ANEXO II.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Os sete elementos do protocolo ODD em seus respectivos agrupamentos.....	23
Quadro 3.2 – Trabalhos realizados utilizando a abordagem ComMod.....	44
Quadro 4.1 – Designação, função e quantidade de pessoas que facilitaram a sessão do jogo..	68
Quadro 4.2 – Itens listados e as perguntas a serem respondidas para a elaboração do elemento conceito de design.....	83
Quadro 5.1 - Descrição dos atributos pertencentes a cada classe/subclasse.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Comparação entre técnicas de simulação de ciências sociais (Gilbert e Troitzsch, 2005).....	12
Tabela 4.1 – Valores monetários iniciais, gastos familiares, custo de produção e ganhos da produção considerados na primeira fase do modelo.....	60
Tabela 4.2 – Perfil do ano climático e respectivos volumes de água agrícola disponível.....	66
Tabela 4.3 – Unidades monetárias geradas por tipo de cultura e quantidade de água aplicada.....	67
Tabela 4.4 – Perfil do ano climático e respectivos volumes de água agrícola disponíveis nos poços coletivos.	76
Tabela 4.5 – Posição dos poços individuais no tabuleiro, seus custos de implementação e a quantidade de água fornecida em função do ano climático.....	76
Tabela 4.6 – Valores de custos e ganhos das três culturas presentes na segunda versão do modelo.....	79
Tabela 5.1 – Renda de cada jogador nos respectivos anos (rodadas) do jogo e a renda total gerada em cada ano.....	89
Tabela 5.2 – Quantidade de propriedade com determinado tipo de cultura na primeira rodada.....	96
Tabela 5.3 – Renda obtida por cada jogador em cada ano do jogo da segunda sessão.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Desenvolvimento das abordagens contemporâneas para simulações nas ciências sociais.....	9
Figura 3.2 – Elementos gerais de um modelo baseado em agentes.....	18
Figura 3.3 – Interface de modelagem do GAMA.....	31
Figura 3.4 - Associação de modelo baseado em agente, jogos de representação de papéis e observações de campo em uma abordagem cíclica.....	40
Figura 3.5 – Elementos e interações presentes na arena de ação e nas variáveis exógenas.....	42
Figura 4.1 – Fluxograma Metodologia.....	47
Figura 4.2 – Figura 4.2 – Bacias hidrográficas presentes no Distrito Federal.....	48
Figura 4.3 – Localização do Assentamento Canaã.....	54
Figura 4.4 – Representação do ambiente presente no modelo.....	57
Figura 4.5 – Diagrama de Classe.....	58
Figura 4.6 - Diagrama de atividades do agente agricultor.....	61
Figura 4.7 – Tabuleiro e elementos do jogo utilizados.....	65
Figura 4.8 - Recipiente transparente contendo as bolas de gude e o dinheiro utilizados.....	65
Figura 4.9 - Representação espacial dos locais presentes na sessão do jogo.....	68
Figura 4.10 - Configuração do tabuleiro no decorrer da segunda sessão do jogo.....	75
Figura 4.11 - Diagrama de atividades do agente agricultor na segunda fase do modelo.....	80
Figura 5.1 – Disposição das culturas na primeira rodada do jogo.....	87
Figura 5.2 – Renda bruta gerada de cada jogador nos respectivos anos (rodadas) do jogo.....	89
Figura 5.3 – Quantidade dos três tipos de culturas alocada nas pelos jogadores em suas propriedades nas 5 rodadas de jogo.....	90
Figura 5.4 – Alocação de água realizada pelos jogadores por ano.....	91
Figura 5.5 – Disposição das culturas na primeira rodada do jogo da segunda sessão.....	95
Figura 5.6 – Quantidade dos três tipos de culturas alocada nas pelos jogadores em suas propriedades nas 3 rodadas de jogo.....	97
Figura 5.7 – Diagrama de Classe.....	101
Figura 5.8 – Diagrama de atividades do agente.....	104
Figura 5.9 – Resultados obtidos para o primeiro cenário simulado.....	101

Figura 5.10 – Resultados obtidos para o segundo cenário simulado.....	103
Figura 5.11 – Resultados obtidos para o terceiro cenário simulado.....	107
Figura 5.12 – Resultados obtidos para o quarto cenário simulado.....	108
Figura 5.13 – Resultados obtidos para o quinto cenário simulado.....	110
Figura 5.14 – Resultados obtidos para o sexto cenário simulado.....	112

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
ComMod	Companion Modelling
CORMAS	COmmon-pool Resources and Multi-Agent Systems
Emater	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal
GAMA	GIS Agent-based Modeling Architecture
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
PDS	Plano de Desenvolvimento Sustentável
PGIRH	Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do Distrito Federal
PIECH	Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica do Distrito Federal
SAF	Sistema Agroflorestal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
RA	Região Administrativa

1. INTRODUÇÃO

A maioria das questões ambientais se distingue pela natureza incerta do conhecimento científico disponível para sistemas que englobam essa abordagem e pela imprevisibilidade inerente a sistemas complexos. Nesse sentido, um profundo entendimento sobre os diversos sistemas e suas formas de mudanças é de suma importância no que tange o planejamento e o gerenciamento de um determinado bem natural. Historicamente, os sistemas ambientais associados à gestão de recursos hídricos apresentam um enfoque voltado para elementos abióticos, tratando com maior ênfase fatores e processos físico-químicos.

Com a intenção de conceber uma representação mais ampla e dinâmica dos sistemas ambientais e hídricos, um tipo específico de simulação surge e engloba uma parte fundamental do sistema, os atores e seus processos sociais. Nesse tipo de simulação, originada na ciência da computação e na ecologia, os atores são representados por agentes computacionais, recebendo, assim, o nome de simulação baseada em agentes (Berglund, 2015). Surgindo com o propósito de simular sistemas complexos, trouxe um foco maior para a interação e representação de agentes, sendo no caso dessa dissertação, pessoas.

Nessa perspectiva, uma definição abrangente de sistemas complexos define-o como um campo de pesquisa interdisciplinar que procura explicar como um grande número de agentes considerados relativamente simples se organiza, sem a ajuda de um controlador central, em coletivos que desenvolvem padrões, usam informações e, em alguns casos, evoluem e aprendem (Mitchell, 2009). Nos casos em que há evolução e aprendizados, os sistemas complexos são denominados de adaptativos. Portanto, sistemas adaptativos complexos podem ser entendidos como sistemas dinâmicos nos quais existe a capacidade de se adaptar e evoluir frente a mudanças no ambiente (Chan, 2001).

Outra propriedade muito importante relacionada aos sistemas adaptativos complexos é a denominada emergência, onde os sistemas apresentam padrões temporais e/ou espaciais em uma escala maior do que a escala na qual os subsistemas interagem (Fuchs, 2013). A emergência ocorre quando os agentes programados com regras simples apresentam um

comportamento conjunto extremamente complexo, dando origem a padrões mutáveis e de difícil previsão (Mitchell, 2009).

Tentando simular essa abordagem voltada a sistemas adaptativos complexos e considerando a organização de uma comunidade rural, assentamento Canaã, em função de seus padrões, informações, aprendizados, emergência e evolução frente a uma mudança no ambiente, duas ferramentas foram utilizadas para avaliar esses processos: um jogo de representação de papéis e um modelo baseado em agentes. .

Os jogos de representação de papéis podem ser utilizados para avaliar as interações sociais numa escala micro, as tomadas de decisão da comunidade local, além de servir como uma plataforma de diálogo e interação entre os agentes de uma comunidade local frente ao assunto tratado (Adamatti *et al.*, 2005; Trébuil *et al.*, 2017). Já o modelo baseado em agentes serve como uma ferramenta de avaliação dos processos emergentes, possibilitando explorar conexões entre os comportamentos de micronível dos indivíduos e os padrões de nível macro que emergem de suas interações (Berglund, 2015).

A junção dos jogos de representação de papéis e do modelo baseado em agentes possibilita a integração dos atores sociais no processo de modelagem. Segundo Gilbert e Troitzsch (2005), o processo de envolvimento na modelagem das partes interessadas de uma forma mais intrínseca apresenta várias vantagens, tais como, maior confiança de que a questão abordada na pesquisa é, de fato, aquela cuja resposta será relevante para os usuários; as partes interessadas têm maior probabilidade de sentir alguma obrigação em responder às descobertas da pesquisa se estiverem intimamente envolvidas no processo; as partes interessadas muitas vezes são uma rica fonte de conhecimento sobre o fenômeno que está sendo modelado; e o envolvimento da parte interessada na pesquisa provavelmente aumentará seu interesse e nível de conhecimento sobre as questões.

Como exemplo dessa abordagem tem-se um estudo realizado em Zurique, na Suíça, no qual foi desenvolvido um projeto para ajudar as partes interessadas envolvidas no fornecimento de água doméstica da cidade. O "*Zurich Water Game*" (Hare *et al.*, 2003) foi uma simulação

baseada em agentes cujo alguns dos agentes podiam ser alterados para serem controlados pelos jogadores. O jogo era rodado pela Internet com um servidor central, que gerava o ambiente e simulava todos os agentes que não estavam sendo controlados diretamente pelos jogadores. Por meio do jogo, os jogadores poderiam explorar as consequências de suas próprias decisões sobre as estratégias dos outros jogadores e seus efeitos em suas próprias oportunidades e estratégias.

Já nessa dissertação, a escolha da supracitada comunidade se deu, principalmente, devido à relevância da Bacia do Rio Descoberto no que tange o sistema público de abastecimento de água do Distrito Federal e o recente histórico de crise hídrica. Responsável por 58,5% da água produzida e pelo atendimento de 61,52% da população (CAESB, 2014), entre os anos de 2015 e 2016, a baixa precipitação acabou contribuindo para a diminuição dos níveis da principal fonte de abastecimento do Distrito Federal, o reservatório do Descoberto (GDF, 2017b). Como consequência da crise hídrica, a referida região ganhou grande notoriedade nas questões relacionadas à gestão de recursos hídricos, o que contribuiu na hora da escolha da comunidade a ser trabalhada nessa dissertação.

Para atingir o objetivo proposto, a união dessas duas ferramentas foi inspirada nas partes iniciais da metodologia de modelagem de acompanhamento denominada de *Companion Modelling* – ComMod (Barreteau *et al.*, 2014). Sendo assim, visando ao desenvolvimento metodológico, o jogo de representações de papéis utilizado foi o WaDiGa (“*Water Distribution Game*”) (Trébuil *et al.*, 2017) e para o desenvolvimento do modelo, a plataforma GAMA (“*GIS Agent-based Modeling Architecture*”) (Taillandier *et al.*, 2018), específica para simulações baseadas em agentes.

No intuito de explicitar a pesquisa desenvolvida e seus resultados, a presente dissertação está organizada em seis Capítulos, sendo o primeiro a Introdução. No Capítulo 2, são definidos o Objetivo Geral e os Objetivos Específicos, seguido pelo Capítulo 3, onde há a Fundamentação Teórica e a Revisão Bibliográfica. Já no Capítulo 4, é possível visualizar a metodologia desenvolvida. O Capítulo 5 apresenta os Resultados e a Discussão sobre os mesmos e, finalmente, o Capítulo 6 a Conclusão.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral utilizar jogos de representação de papéis e modelagem baseada em agentes como ferramentas de ampliação da compreensão dos atores sobre a disponibilidade hídrica; de observação do comportamento coletivo em relação à gestão da água; e avaliação os processos de emergência presentes em uma comunidade rural localizada na Bacia do Rio Descoberto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos que contribuirão para compor o objetivo geral do trabalho são:

- Avaliar a utilização de jogos de representação de papéis como uma ferramenta de mapeamento do comportamento e dos processos de tomada de decisão em relação ao uso dos recursos hídricos;
- Avaliar a articulação entre as duas ferramentas utilizadas e a parametrização do modelo baseado em agente a partir dos jogos de representação de papéis;
- Representar a relação entre a produção agrícola de uma comunidade rural e o uso da água por meio de um modelo baseado em agentes implementado na plataforma GAMA;
- Avaliar possíveis cenários simplificados de produção agrícola e de uso da água no Assentamento Canaã utilizando um modelo baseado em agentes parametrizado por meio de jogos de representação de papéis.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem como objetivo apresentar conceitos fundamentais utilizados durante a elaboração da pesquisa. Na sessão 3.1 e 3.2, serão abordados conceitos relevantes para o entendimento do tipo de sistema que será estudado, levando em consideração seus aspectos e características, além dos meios que podem ser utilizados para representá-lo. Nos subitens mencionados, um breve histórico também será relatado no intuito de explicitar o surgimento e evolução de técnicas de simulação para sistemas adaptativos complexos. Na sequência, sessão 3.3, será ilustrada a importância de um tipo específico de modelagem utilizada como ferramenta de simulação de sistemas multiagentes. Já na sessão posterior, há uma revisão bibliográfica apresentando algumas plataformas já desenvolvidas com a finalidade de elaborar modelos baseados em agentes. Nessa perspectiva, as principais vantagens e desvantagens das respectivas ferramentas serão apontadas, subsidiando a escolha da ferramenta utilizada na referida pesquisa. Em seguida, é explicitada uma relação entre a modelagem baseada em agentes e a gestão de recursos hídricos, explicitando os principais trabalhos científicos que fundamentaram hipóteses e escolhas de ferramentas ao longo desse trabalho. Por último, foi destinada uma sessão referente a uma específica metodologia que incorpora a modelagem baseada em agentes juntamente com a aplicação de jogos de representações de papéis na gestão de recursos naturais. Nesse subitem também é mencionado o jogo utilizado nessa dissertação e seu histórico de criação.

3.1 SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEXOS

Um sistema, de forma genérica, pode ser definido como qualquer parte do universo que apresente a possibilidade de ser “isolada”, seja fisicamente ou no imaginário, com o propósito de observação e estudo (Zilberman, 1997). Dentre os diversos tipos de sistemas, é possível destacar um em específico, os sistemas complexos. A teoria da complexidade surgiu em meados de 1980 e apesar das décadas desde o seu surgimento, ainda pode ser considerada relativamente nova. O termo complexidade, embora apresente grande relevância, não possui uma definição universalmente aceita (Fuchs, 2013). Entretanto, alguns pesquisadores definem sistemas complexos como sistemas que apresentam agentes conectados e que exibe um

comportamento global, emergente e não imposto por um controlador central, mas sim, resultado de interações entre os próprios agentes (Boccaro, 2004).

Considerando a etimologia da palavra complexo, Gell-Mann e Lloyd (1996) traçaram seu significado, onde, *plexus* traduzido do latim significa entrançado ou entrelaçado e *complexus*, entrelaçado juntos. Desta forma, o termo associado à complexidade resulta do inter-relacionamento, interação e interconectividade entre os elementos do sistema e o ambiente externo (Chan, 2001). Devido a essa interconectividade, as estruturas dos sistemas complexos também podem ser arquitetadas por unidades interagentes em hierarquias de níveis, isto é, subsistemas são compostos por sub-subsistemas que apresentam graus intrincados mais elevados (Fuchs, 2013).

Desta forma, uma das características mais marcantes dos sistemas complexos é seu grande número de componentes ativos e interagentes ou atores diversos em forma e capacidade (Holland, 1995; Miller e Page, 2007). Essa característica contribui para um fenômeno denominado de emergência, que é considerado como uma das ideias mais importantes da teoria da complexidade (Gilbert e North, 2005). A emergência pode ser definida como um fenômeno no qual o comportamento agregado bem formulado surge do comportamento individual localizado (Berglund, 2015). Em outras palavras, a emergência também pode ser observada quando as interações entre objetos em um nível dão origem a diferentes tipos de objetos em outro nível, podendo ser considerada um comportamento macroscópico (Gilbert e Troitzsch, 2005; Mitchell, 2009).

Propriedades emergentes dos sistemas complexos ocorrem quando certas condições ambientais não específicas são satisfeitas, desta forma os sistemas apresentam padrões temporais e/ou espaciais em uma escala maior do que a escala na qual os subsistemas interagem (Fuchs, 2013). Além disso, o efeito gerado em grande escala pelas interações locais dos agentes é frequentemente inesperado e de difícil, ou até mesmo impossível, predição quando somente são observadas as interações individuais (Boccaro, 2004).

Considerando a dificuldade de predição, outro conceito importante dentro do âmbito dos sistemas complexos é a teoria dos sistemas dinâmicos. Essa teoria refere-se à descrição e previsão de sistemas que exibem complexos comportamentos de mudança no nível macroscópico, emergidos das ações coletivas (Mitchell, 2009). Sendo assim, a teoria dos sistemas dinâmicos descreve, em termos gerais, maneiras pelas quais o sistema pode mudar, que tipos de comportamento macroscópico são possíveis e que tipo de previsão pode ser realizada. De acordo com Berglund (2015), um entendimento sobre a dinamicidade de um sistema complexo pode ser usado para traçar o caminho das transições possíveis no sistema e antecipar a abordagem dos estados benéficos ou prejudiciais de equilíbrio.

Tendo em vista os conceitos supracitados, Mitchell (2009) definiu sistemas complexos como um campo de pesquisa interdisciplinar que procura explicar como um grande número de entidades consideradas relativamente simples se organiza, sem a ajuda de um controlador central, em coletivos que desenvolvem padrões, usam informações e, em alguns casos, evoluem e aprendem. Nos casos em que há evolução e aprendizados, os sistemas complexos são denominados de adaptativos. Portanto, Sistemas Adaptativos Complexos podem ser entendidos como sistemas dinâmicos nos quais existe a capacidade de se adaptar e evoluir frente a mudanças no ambiente (Chan, 2001).

Nessa perspectiva, a definição proposta por Mitchell (2009) e Chan (2001), se assemelha ao objetivo proposto nessa dissertação, que visa observar o comportamento coletivo em relação à gestão da água em uma comunidade rural e avaliar os processos de emergência presentes na região. A emergência na região pode decorrer de fatos intrinsecamente ligados à gestão de recursos hídricos, tais como, a utilização exacerbada de água, a dinâmica de uso e ocupação do solo, ou até mesmo o alto índice de urbanização.

Alguns sistemas naturais (sistemas imunológicos, ecologia, sociedade) e, gradativamente, sistemas artificiais (inteligência artificial, redes neurais artificiais, programas evolutivos) começaram a serem considerados Sistemas Adaptativos Complexos. Sendo assim, o sistema a ser estudado nessa dissertação pode ser enquadrado como um Sistema Adaptativo Complexo,

pois está relacionado a sistemas sociais, que utilizam/interagem com um determinado meio e/ou recurso natural.

A ênfase no processo e nas relações entre os agentes do sistema, ambos os quais podem ser examinados por meio da simulação, explica o elo em desenvolvimento entre a teoria de sistemas adaptativos complexos e a pesquisa na área de simulação (Gilbert e Troitzsch, 2005). Segundo os mesmos autores, a análise de sistemas adaptativos complexos pode ser feita por meio de uma combinação entre métodos aplicados, teóricos e experimentais. Contudo, encontrar o comportamento emergente global de um grande sistema de interação de agentes usando somente métodos analíticos, em geral, é insuficiente, sendo, assim, necessários métodos computacionais.

Nesse sentido, devido à importância da simulação computacional e por essa ser uma alternativa para o entendimento sobre os processos presentes nos sistemas adaptativos complexos, o próximo item abordará a relação entre a simulação computacional e os sistemas adaptativos complexos.

3.2 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS APLICADAS A SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEXOS.

A simulação computacional de fenômenos sociais é um campo promissor de pesquisa na intersecção entre ciências sociais, matemática e informática (Adamatti *et al.*, 2005). As primeiras abordagens na simulação computacional relacionadas às ciências sociais coincidem com o primeiro uso de computadores na pesquisa acadêmica no início dos anos 60. Apesar da existência da aplicação de simulações computacionais no campo das ciências sociais, a simulação computacional era essencialmente utilizada como uma ferramenta de implementação de modelos matemáticos (Gilbert e Troitzsch, 2005).

A simulação computacional aplicada às ciências sociais começou a ser de fato amplamente utilizada somente na década de 1990 e teve como raízes a ciência da computação e a ecologia (Berglund, 2015). Além dessas áreas, várias abordagens da simulação social contemporânea

também foram originadas em campos relacionados à física e à inteligência artificial (Gilbert e Troitzsch, 2005) (Figura 3.1). Desta forma, os modelos baseados em equações, área sombreada da Figura 3.1, foram a base prática para o desenvolvimento de modelos baseados em objetos, eventos e agentes, área mais clara da Figura 3.1, dando origem a abordagens, tais como, autômato celular, modelagem multinível, modelagem multiagente, entre outras.

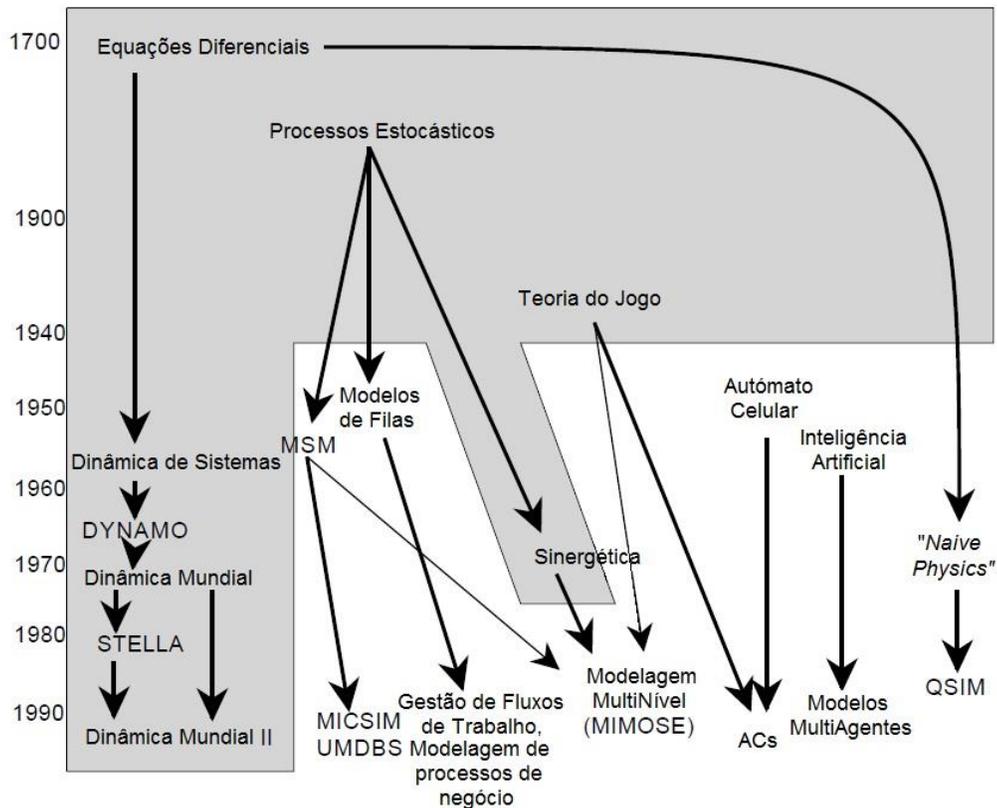


Figura 3.1 – Desenvolvimento das abordagens contemporâneas para simulações nas ciências sociais, onde a área sombreada cinza são modelos baseados em equações e a área branca são modelos baseados em objetos, eventos ou agentes; "ACs" significa autômatos celulares usados em simulações aplicadas às ciências sociais (Gilbert e Troitzsch, 2005).

Os físicos e matemáticos tinham como objetivo entender as propriedades de grandes agregados de matéria, sendo assim, criaram os modelos denominados autômatos celulares. Esses modelos foram aplicados para explicar as propriedades de materiais magnéticos, fluxo turbulento em líquidos, crescimento de cristais, erosão do solo e em muitas outras áreas da ciência (Toffoli e

Margolus, 1987). Em todos esses casos, as propriedades do material podem ser modeladas simulando as interações entre as unidades componentes (moléculas, partículas do solo ou do determinado material). Os modelos autômatos celulares consistem em uma grade de células em um arranjo regular. Cada célula pode estar em diferentes estados e as mudanças entre esses estados ocorrem de acordo com regras que dependem apenas dos estados imediatos de seus vizinhos. Os autômatos celulares formam uma estrutura útil para alguns modelos de interação social, como por exemplo, a disseminação de informação entre as pessoas e a formação de bairros etnicamente segregados.

Outra abordagem que também foi influenciada por ideias originadas na física é a modelagem multinível, que se inspirou na teoria sinérgica. Haken (1978), autor da referida teoria, afirma que a mesma pode ser considerada "um campo de pesquisa interdisciplinar, que se preocupa com a cooperação de partes individuais de um sistema que produz estruturas espaciais, temporais ou funcionalmente macroscópicas". A técnica de modelagem multinível permite apenas uma interação indireta entre os indivíduos. Cada indivíduo avalia o seu ambiente de uma forma global e a ele reage, mudando-o a partir de seu comportamento. Embora esses tipos de modelos possam explicar alguns fenômenos interessantes, eles não ilustram os efeitos em redes sociais ou em pequenos grupos, os quais as interações não são globais, mas sim locais e entre indivíduos.

A inteligência artificial também foi de suma importância para o desenvolvimento de simulações voltadas a sistemas sociais. Proveniente da ciência da computação, a inteligência artificial tem como foco o desenvolvimento de simulações da inteligência humana, utilizando ferramentas que exibem algumas características do comportamento inteligente. Segundo Gilbert e Troitzsch (2005), até recentemente, a inteligência artificial estava apenas envolvida na modelagem do cognitivo individual, mas nos anos 80 surge um crescente interesse na inteligência artificial distribuída, ou seja, no campo que estuda as propriedades de programas de inteligência artificial interagentes. Com o crescimento da Internet e da "World Wide Web" (Rede Mundial de Computadores em Português), muitos pesquisadores de inteligência artificial se interessaram por software "agentes", programas que recebem ou coletam informações de outros computadores, avaliam essas informações por meio de suas

experiências passadas e decidem qual ação tomar (Doran, 1997). Tanto a inteligência artificial distribuída quanto as vertentes tecnológicas dos agentes de pesquisa desenvolveram modelos que, por envolverem agentes autônomos interagentes, puderam ser aplicados à simulação de sociedades humanas.

Nas últimas décadas, os pesquisadores de inteligência artificial também dedicaram grande atenção às técnicas de "*machine learning*" (aprendizagem de máquina em Português) (Michalski *et al.*, 1983). Esses tipos de técnica permitem que os programas de computador aumentem seu conhecimento e suas habilidades processuais aprendendo a partir de suas experiências. Modelos com a capacidade de aprender são muito úteis tanto para simular os processos cognitivos dos indivíduos quanto para modelar sociedades que se adaptam a novas circunstâncias ao longo do tempo. A junção da pesquisa de inteligência artificial com os estudos da dinâmica não-linear deu origem a técnicas muito importantes como a modelagem multiagente (Gilbert e Troitzsch, 2005). Esses modelos ofereciam a promessa de simular indivíduos autônomos e as interações entre eles, revolucionando, assim, as técnicas de simulações que englobam sistemas sociais.

Ainda segundo Gilbert e Troitzsch, (2005), as técnicas baseadas em inteligência artificial, inteligência artificial distribuída e modelos de aprendizagem, são capazes de acomodar projetos de agentes sofisticados. Outras técnicas derivam alguns de seus benefícios de restringir o pesquisador a agentes muito simples. Finalmente, a maioria das técnicas é capaz de lidar com o grande número de agentes que se esperaria encontrar na simulação social. Existem casos como a dinâmica do sistema, que é orientada para o desenvolvimento de modelos que representam o sistema como um todo, sendo ele o próprio sistema e o único agente simulado.

Essas várias técnicas disponíveis para a simulação de sistemas adaptativos complexos possuem características específicas e determinadas áreas de atuação. É de suma importância o entendimento sobre a capacidade e os atributos que delimitam e definem cada um desses métodos. Sendo assim, baseado em Gilbert e Troitzsch (2005), algumas das técnicas supracitadas podem ser especificadas e comparadas de acordo com alguns atributos, tais como,

número de níveis, comunicação entre agentes, complexidade do agente e número de agentes, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Comparação entre técnicas de simulação de ciências sociais (Gilbert e Troitzsch, 2005).

Técnicas	Número de Níveis	Comunicação entre Agentes	Complexidade dos Agentes	Número de Agentes
Microsimulação	2	Não	Alta	Vários
Modelos de Filas	1	Não	Baixa	Vários
Simulação Multinível	2 ou mais	Talvez	Baixa	Vários
Autômato Celular	2	Sim	Baixa	Vários
Modelos Multiagente	2 ou mais	Sim	Alta	Poucos
Modelos de Aprendizagem	2 ou mais	Talvez	Alta	Vários

O atributo denominado "número de níveis" refere-se não somente ao nível viável da modelagem (indivíduo ou sociedade), mas também à interação entre esses níveis. Uma técnica capaz de modelar dois ou mais níveis é necessária para investigar fenômenos emergentes. Já a comunicação entre agentes, permite a passagem de mensagens entre os agentes e, conseqüentemente, essa propriedade está presente em técnicas apropriadas para modelar linguagem e interação. A complexidade dos agentes está relacionada a sua sofisticação, alguns agentes podem apresentar estruturas bem elaboradas, outros estruturas mais simples. Esse parâmetro depende do objetivo do modelo e qual técnica será utilizada. O parâmetro número de agentes representa a capacidade da técnica em lidar com o número de agentes que se esperaria encontrar na simulação. Há técnicas que apresenta um grande número de agentes e outras um único agente simulado.

Essa dissertação tem foco na abordagem voltada aos sistemas multiagentes, que em sua maioria são simulados por meio de modelos multiagentes (Tabela 3.1). A técnica modelos multiagente foi escolhida, pois apresenta a possibilidade de ter mais de um número de níveis,

além de estudar o comportamento de conjuntos de agentes independentes, que interagem entre si e tentam executar (ou não executar) suas tarefas de forma cooperativa, compartilhando informações, prevenindo conflitos e coordenando a execução de suas próprias atividades (Alvares e Sichman, 1997). Ademais, os modelos multiagentes fazem parte de um grupo específicos e emergente de simulação, as simulações baseadas em agentes.

Sendo assim, as categorias de simulação computacional que se fundamentam em agentes e em suas relações, sejam elas com outro agente ou com o meio em que estão inseridos, podem ser denominadas de simulações baseadas em agentes. Devido a sua característica de representar o comportamento de agentes presentes no sistema e, conseqüentemente, suas interações, a simulação baseada em agentes é comumente utilizada na modelagem da tomada de decisão individual e do comportamento social e organizacional (Bonabeau, 2002). De acordo com Adamatti *et al.* (2007), o uso da simulação como ferramenta auxiliar na tomada de decisão humana é muito eficiente, uma vez que seu uso permite a verificação de detalhes específicos com melhor precisão, sendo ela capaz de representar aspectos dinâmicos da mudança e ajuda a entender a relação entre os atributos e o comportamento dos indivíduos (nível "micro") e as propriedades globais ("macro") dos grupos sociais, sendo possível investigar o processo de emergência.

A simulação baseada em agentes fornece arquiteturas e plataformas as quais possibilitam a implementação e simulação de agentes, contribuindo para a quebra de paradigmas da simulação computacional aplicada a sistemas sociais. Além disso, esse tipo de simulação também aprimora as potencialidades da simulação computacional como uma ferramenta para teorizar questões das ciências sociais (Adamatti *et al.*, 2005). Segundo os mesmos autores, pode-se definir de forma simplificada que a simulação baseada em agentes é a união entre os sistemas baseados em agente e a simulação computacional, sendo, assim, umas práticas valiosas para conciliar diferentes perspectivas interdisciplinares. A interdisciplinaridade da simulação baseada em agente é um importante desafio a ser enfrentado, pois exige um difícil entrelaçamento entre diferentes teorias, metodologias, terminologias e pontos de vista (Marietto *et al.*, 2002).

Apesar do desafio da interdisciplinaridade, atualmente, a simulação baseada em agente vem sendo aplicada a uma ampla gama de domínios e disciplinas. Segundo Macal e North (2014), essa vasta aplicação da simulação baseada em agentes decorre principalmente de alguns fatores, tais como, o crescente desenvolvimento de ferramentas de modelos baseados em agentes, a disponibilidade de dados referentes às transações e interações entre os agentes e aos avanços significativos da computação.

Muitas vezes o objetivo da simulação baseado em agentes não é estudar representações precisas dos sistemas, mas ampliar a compreensão dos princípios gerais válidos para um determinado sistema. De modo geral, simular pode significar executar o modelo no tempo (simulado) e observar o que acontece (Gilbert e Troitzsch, 2005). No intuito de fazer essas simulações, é notório o crescente número de modelos baseados em agentes, o que tem favorecido o desenvolvimento de estudos com essa ferramenta em diversas áreas, entre elas as relacionadas com a utilização de recursos naturais. Sendo assim, o próximo tópico 3.3 versará sobre a definição, as características e os componentes dos modelos baseados em agentes aplicados a um sistema multiagente.

3.3 MODELOS BASEADOS EM AGENTE COMO FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES.

Os sistemas multiagentes não apresentam uma definição com semântica precisa. Isso ocorre devido ao fato desses tipos de sistemas serem utilizados em diversas áreas do conhecimento, tais como, inteligência artificial, ecologia, sociologia, economia, administração e filosofia (Marietto *et al.*, 2003). Wooldridge (2002) definiu sistemas multiagentes como sendo sistemas compostos pela múltipla interação de elementos computacionais, ou seja, os agentes. Os sistemas multiagentes surgem da divisão da inteligência artificial distribuída com o objetivo de estudar os mecanismos de interação entre agentes e seus efeitos (Marietto *et al.*, 2003).

O campo de estudo dos sistemas multiagentes é um domínio de pesquisa bem estabelecido e tem ênfase na resolução de problemas presente em uma sociedade composta por agentes. A distribuição em vários agentes é necessária, pois os problemas podem ser complexos ou

apresentam grandes escalas, inviabilizando sua resolução por meio de um único processo ou exigindo conhecimentos de vários domínios (Adamatti *et al.*, 2005). Algumas das principais aplicações de sistemas multiagentes são: simulação computacional, como já mencionado, devido a sua possível representação por modelos baseados em agentes; e processo de tomada de decisão distribuída, ou seja, apresenta eficiência na descentralização da tomada de decisão em determinados cenários.

Muitas simulações baseadas em agentes são construídas para desenvolver e testar teorias sociais, outras têm um objetivo mais prático: ajudar um grupo de pessoas a entender seu mundo para controlá-lo e modificá-lo. Em alguns exemplos, a simulação de sistemas multiagentes está sendo utilizada para desenvolver políticas para a gestão de recursos hídricos, sugerir assessoria a empresas “*on-line*” sobre “*marketing*” de produtos na Internet, entender as implicações das principais políticas estratégicas do banco, gerenciar ecossistemas rurais e aprender a responder de forma mais efetiva as epidemias (Gilbert e Troitzsch, 2005). Sendo assim, dentre os exemplos, vale destacar os relacionados à gestão de recursos hídricos e gerenciamento de ecossistemas rurais, os quais se assemelham ao foco dessa dissertação.

Os modelos baseados em agentes foram desenvolvidos para modelar um grupo de atores e suas interações com base em regras comportamentais (Berglund, 2015). No nível mais simples de definição, um modelo baseado em agente consiste em uma ferramenta que busca representar um sistema de agentes e as relações entre eles. Mesmo um modelo baseado em agentes sendo considerado simples pode exibir padrões complexos de comportamento e fornecer informações valiosas sobre a dinâmica do sistema presente no mundo real ao qual ele é simulado. Na modelagem baseada em agente, um sistema é modelado como uma coleção de entidades autônomas em relação à tomada de decisão (Bonebeau, 2002).

Se comparados aos modelos tradicionais, os modelos baseados em agentes são flexíveis, capturam fenômenos emergentes e incorporam sistemas do mundo real que envolvem tomadas de decisão humanas complexas, sendo a capacidade de lidar com fenômenos emergentes o impulsionador dos outros benefícios (Bonebeau, 2002). De acordo com Gilbert e Troitzsch (2005), os métodos estatísticos convencionais utilizados para analisar sistemas sociais são

quase sempre baseados no pressuposto de uma relação linear entre as variáveis. Entretanto, esse pressuposto é uma suposição um pouco restritiva, pois os fenômenos os quais o modelo quer simular não podem ser totalmente capturados por distribuições probabilísticas ou reduzidos a uma fórmula simples. Sendo assim, o comportamento complexo do sistema adaptativo demonstra regularidades estatísticas imprevistas pelo teorema do limite central, e o cálculo do comportamento médio ou do nível médio de satisfação de objetivos individuais negligencia dinâmicas importantes. Sistemas que são compostos de comunidades de agentes individuais heterogêneos podem não ser representados com precisão usando equações diferenciais ou cálculos agregados, que assumem uma mistura global homogênea de interações e suavizam as flutuações do sistema (Gilbert e Troitzsch, 2005).

Os modelos baseados em agentes podem ser considerados mais como uma mentalidade do que uma tecnologia. Essa mentalidade consiste em descrever um sistema a partir da perspectiva de suas unidades constituintes. Segundo Bonebeau (2002), é necessário elucidar em quais momentos é recomendada a utilização de modelos baseados em agentes. Esses momentos ocorrem quando:

- As interações entre os agentes são complexas, não-lineares, descontínuas ou discretas;
- A escala temporal é crucial e as posições dos agentes não são fixas;
- A população é heterogênea e cada indivíduo é (potencialmente) diferente.
- A topologia das interações é heterogênea e complexa,
- Os agentes exibem comportamento complexo, incluindo aprendizado e adaptação.

Considerando essas recomendações, os modelos baseados em agentes foram selecionados nesse estudo, pois é possível notar que o sistema a ser analisado apresenta características que se enquadram nas citadas por Bonebeau (2002). Um exemplo é a heterogeneidade dos indivíduos ali presentes, tanto em relação ao gênero, idade e até mesmo origem. Outras características marcantes do sistema estudado nessa dissertação são: a interação heterogênea e complexa dos indivíduos, o grau de complexidade presente em seu comportamento e a memória em relação ao recente processo de crise hídrica.

Ao mencionar complexidade, não linearidade, descontinuidade ou discretização do agente, Bonebeau (2002) refere-se à alteração drástica do comportamento que um agente pode sofrer, mesmo de forma descontínua, por fatores externos. Já em relação à escala temporal crucial e à posição do agente, esse perfil pode ser exemplificado em simulações tais como escape de incêndio, parque temático, supermercado, trânsito, entre outros. No que se refere à população heterogênea, nas interações homogêneas e globalmente misturadas, não há necessidade de utilizar modelos baseada em agentes. Entretanto, raramente as organizações sociais são consideradas homogêneas, elas são caracterizadas por aglomerados que tendem a gerar desvios do comportamento médio.

Os modelos baseados em agentes, muitas vezes fundamentados em linguagens orientadas a objetos, fazem parte de um campo de pesquisa em desenvolvimento que trata de uma modelagem associada a sociedades virtuais. Uma das principais razões pelas quais esse tipo de modelo está se tornando mais popular no referido campo de pesquisa é sua capacidade de conceituar entidades na gestão de recursos naturais (Epstein e Axtell, 1996). Isso explica a necessidade de ferramentas de simulação que facilitam a modelagem de dinâmicas sociais em relações espaciais na gestão de recursos naturais (Epstein e Axtell, 1996), além da necessidade de ferramentas de simulação para facilitar a modelagem da dinâmica social em contextos espacialmente explícitos (Grimm, 1999). O trabalho de modelagem pode ser visto como uma maneira de estruturar as representações, as trocas e facilitar os processos de discussão e aprendizado (Adamatti *et al.*, 2005).

As noções de comportamento, tomada de decisão e interação, que se aplicam à modelagem de vários tipos de sistema, serviram como base para Macal e North (2014) definirem que um típico modelo baseado em agentes é composto por três elementos. O primeiro elemento seria um conjunto de agentes, especificado por suas características e comportamentos. Já o segundo, as relações entre os agentes e os métodos de interação, onde uma topologia subjacente de conectividade define como e com quem os agentes interagem. Já o terceiro elemento está baseado no ambiente, no qual os agentes vivem e interagem entre si e com o meio. Os três elementos podem ser visualizados na Figura 3.2. Considerando essa composição, para

desenvolver um modelo no intuito de criar um modelo baseado em agentes é necessário identificar, modelar e programar os três elementos supracitados.

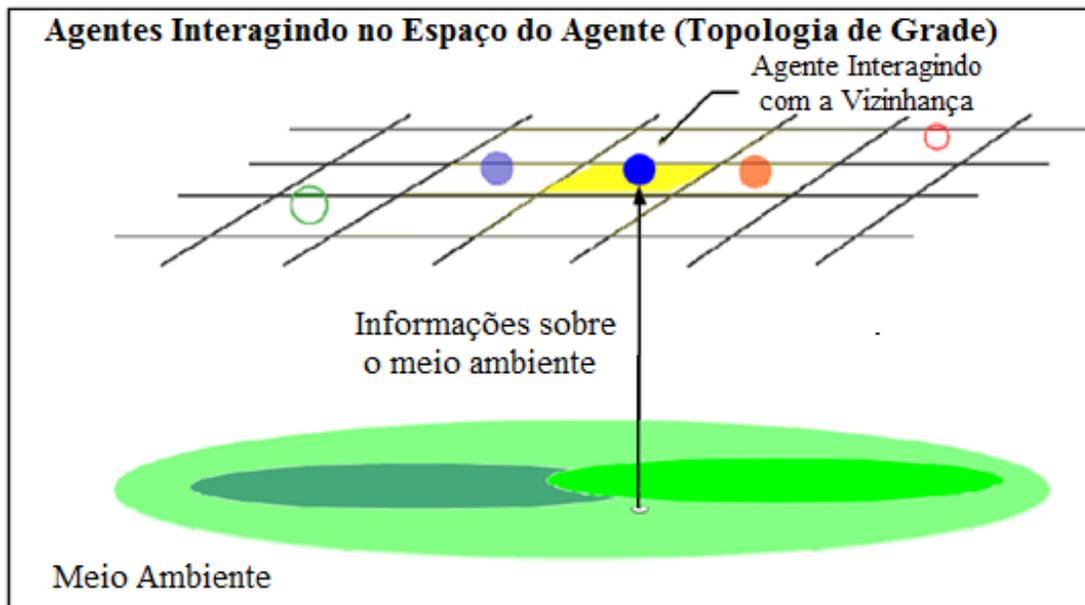


Figura 3.2 – Elementos gerais de um Modelo Baseado em Agentes (Fonte: Macal e North, 2011).

Para que se possa desenvolver um modelo baseado em agentes e analisar os efeitos emergentes possíveis, é necessário um bom conhecimento sobre os três elementos supracitados (Figura 3.2). Sendo assim, o próximo subtópico está relacionado com a definição e aspectos do componente central dos modelos baseados em agentes, o agente.

3.3.1 Definição e propriedade de agentes em modelos baseados em agentes

No processo de desenvolvimento de um modelo baseado em agente, a definição do agente pode ser considerada a parte mais importante do processo, pois é ele quem determina as relações a serem simuladas. Cada agente avalia individualmente sua situação e toma decisões com base em um conjunto de regras. Os agentes podem executar vários comportamentos apropriados para o sistema o qual estão inseridos, ações como, produzir, consumir, vender, entre outras. (Bonabeau, 2002).

Apesar da importância do agente no processo de modelagem, no contexto da simulação baseada em agentes, o termo “agente” ainda não apresenta uma definição integralmente precisa e consensual (Macal e North, 2014). Embora o agente não possua uma definição aceita de forma universal, o termo é normalmente utilizado para descrever programas autônomos que podem controlar suas próprias ações com base em percepções de seu ambiente operacional (Huhns e Singh, 1998). Na aplicação de modelos baseados em agentes voltados a processos sociais, um conceito bastante aceitável define que os agentes representam pessoas ou grupos de pessoas e suas relações representam os processos de interação social (Gilbert e Troitzsch, 2005).

Outra definição também amplamente aceita determina que os agentes são como entidades autônomas que possuem conhecimento e informação específicos (Parker *et al.*, 2003). Normalmente, os agentes são direcionados por objetivos e podem agir sobre o meio ambiente e reagir às condições de políticas e do mercado (Wooldridge e Jennings, 1995). Além disso, os agentes também podem ser caracterizados pelos seus atributos, regras comportamentais, memória, sofisticação na tomada de decisão, ou seja, quantidade de informações que um agente requer para tomar decisões e recursos (Akhbari e Grigg, 2013). Já na ciência da computação, um agente também é uma entidade autônoma de tomada de decisão que percebe o ambiente, delibera internamente, se comunica e age (Ferber, 1999).

Macal e North (2014) sintetizaram certas propriedades e atributos dos agentes:

1. Autonomia: um agente é autônomo, autodirigido e pode funcionar de forma independente em seu ambiente e em suas interações com outros agentes;
2. Modularidade: os agentes podem ser modulares ou independentes. O requisito de modularidade sugere que um agente tem um limite e pode-se determinar facilmente se algo, como um elemento de estado do modelo, faz parte de um agente, não faz parte de um agente ou é uma característica compartilhada entre agentes;
3. Sociabilidade: um agente é social e interage com outros agentes. Protocolos comuns de interação entre agentes incluem reconhecimento de agente, troca de informação e comunicação, influência e outros mecanismos específicos de um domínio ou aplicativo.

4. Condicionalidade: um agente apresenta um estado que varia ao longo do tempo. Assim como um sistema, um agente também possui um estado que representa sua condição. Essa condição é definida pelas variáveis essenciais associadas à situação atual do agente. Sendo assim, o estado de um agente consiste em um conjunto ou subconjunto de seus atributos e seus comportamentos. A condicionalidade determina que os comportamentos de um agente estejam condicionados ao seu estado. Quanto mais rico for o conjunto de estados possíveis de um agente, mais rico será o conjunto de comportamentos que um agente pode ter.

Os agentes também podem ter propriedades adicionais, que são ou não consideradas como propriedades necessárias para uma ação. Sendo assim, os agentes tomam decisões e selecionam ações de forma autônoma e individual, interagem localmente em subgrupos específicos para obter e transmitir informações e/ou recursos e interagem com o ambiente compartilhado. Sua característica autônoma advém das distinções entre os agentes e dos componentes presentes no sistema, além da capacidade de realizar ações independentes (Berglund, 2015). Os agentes muitas vezes são orientados por seus objetivos e usam estratégias e ações intencionais para obter um retorno. Eles possuem a capacidade de mudar seus comportamentos e atualizar suas decisões baseados na memória relacionada a decisões passadas e no aprendizado (Bonabeau, 2002).

Segundo Berglund (2015), à medida que os atores atualizam suas decisões, eles podem compartilhar informações aprendidas com outros atores. Assim, as propriedades no nível do sistema não são a soma de comportamento da população e sim das propriedades que emergem com base nas interações. Sendo assim, os atores exibem uma complexidade organizada na qual as interações entre componentes individuais podem anular ou amplificar os resultados, ou seja, devido a sua conectividade com um ambiente comum e, à medida que tentam otimizar seus próprios objetivos, podem causar degradação ou otimização de propriedades no nível do sistema.

Na perspectiva dos modelos baseados em agentes, os quais há a possibilidade de aplicação às várias áreas do conhecimento, os agentes podem ser representados por diversas formas. É

possível citar alguns exemplos, tais como, atividades diárias de um indivíduo que podem ser explicitamente modeladas no intuito de avaliar a transmissão de doenças infecciosas e entender os padrões de transmissão decorrentes do contato com outros indivíduos; uma cadeia de suprimentos, onde os agentes podem ser representados por empresas com comportamentos de tomada de decisões sobre fornecimento e pedidos de materiais, estoque, remessa e expansão de capacidade; sistema baseado em agentes composto por agentes artificiais, onde robôs colaboradores pesquisam e comunicam suas descobertas para realizar coletivamente uma tarefa; entre outros. Levando em consideração esses exemplos, é notório que cada agente pode ter valores distintos em relação às características, regras comportamentais, caminhos e/ou histórico. Os diversos agentes podem ser insetos, pássaros, pessoas ou empresas, e sua quantidade pode variar de cem a milhões (Gilbert e Troitzsch, 2005).

Apesar dos benefícios de trabalhar com modelos baseados em agentes, os mesmos também apresentam algumas limitações. Segundo Bonabeau (2002), uma questão que engloba os modelos baseados em agentes, mas também é comum a todas as técnicas de modelagem, afirma que um modelo teve servir a um propósito, ou seja, um modelo deve englobar o nível certo de descrição, com a quantidade necessária de detalhes para servir a sua finalidade. Outra questão tem a ver com a própria natureza dos sistemas. Ao utilizar um modelo baseado em agentes, na maioria das vezes, agentes humanos apresentam comportamento potencialmente irracional, escolhas subjetivas e psicologia complexa, em outras palavras, fatores suaves, difíceis de quantificar, calibrar e às vezes justificar. Embora isso possa constituir uma importante fonte de problemas na interpretação dos resultados das simulações, é justo dizer que, na maioria dos casos, o modelo baseado em agentes pode ser o único meio de lidar com tais situações.

Considerando as questões mencionadas, deve-se ter cuidado na utilização dos modelos baseados em agentes, pois é recomendado não tomar decisões somente com base no resultado quantitativo de uma simulação, pelo contrário, as interpretações dos resultados em níveis qualitativos devem apresentar um maior peso (Bonabeau, 2002). De acordo com o mesmo autor, devido ao grau variável da precisão e a integridade na entrada do modelo (dados, experiência, entre outras), a natureza do resultado é igualmente variada, alterando de

percepções puramente qualitativas até resultados quantitativos utilizáveis para a tomada de decisões. Esse aspecto dificulta a reprodução do modelo baseada em agentes desenvolvido e, conseqüentemente, sua validação.

A última grande questão relacionada à modelagem baseada em agentes, que é uma questão prática, assume que por definição, o modelo baseado em agentes analisa um sistema no nível de suas unidades constituintes, não no nível agregado. Embora o nível agregado possa ser descrito com apenas algumas equações de movimento, a descrição do nível inferior envolve elementos relacionados ao comportamento potencial individual de muitas unidades constituintes. Além disso, a simulação do comportamento de todas as unidades pode ser extremamente intensiva em computação e, portanto, demorada. Ainda que a capacidade de computação esteja aumentando a um ritmo impressionante, os altos requisitos computacionais do modelo baseado em agentes permanecem um problema quando se trata da modelagem de grandes sistemas. Desta forma, para sanar as dificuldades apresentadas um protocolo foi criado, o ODD, que será explicitado no próximo subtópico.

3.3.2 Protocolo ODD - Overview, Design concepts and Details

Levando em consideração os fatores limitantes supracitados, um protocolo denominado de “*Overview, Design concepts and Details – ODD*” (Visão Geral, Conceitos de Design e Detalhes, em tradução livre) foi desenvolvido por Grimm *et al.* (2006). A falta de um protocolo padrão para descrever os modelos baseados em agentes, o que dificulta sua compreensão e duplicação, foi uma das principais justificativas para a criação do ODD. Após sua primeira proposição, em 2010, parte dos mesmos autores fizeram uma revisão e complementação da primeira versão do ODD. Tendo em vista essas complementações, o referido protocolo, assim como o próprio nome sugere, consiste em três blocos distintos (Visão Geral, Conceitos de Design e Detalhes), que são subdivididos em sete elementos: propósito; entidades, variáveis de estado e escalas; síntese e etapas do processo; conceitos de design; inicialização; entrada de dados; e submodelos, como mostra o Quadro 3.1 (Grimm *et al.*, 2006; Grimm *et al.*, 2010).

Segundo os autores do protocolo, o ODD traz a proposta de estabelecer um formato comum e detalhado da descrição de modelos baseados em agentes e possui como principais objetivos tornar essas descrições mais compreensíveis e completas, tornando os MBAs menos suscetíveis às críticas de não reprodutibilidade. Nesse sentido, o primeiro passo na elaboração de um ODD é a etapa da visão geral, que consiste em três elementos (propósito, entidades, variáveis de estado e escalas, síntese e etapas do processo), os quais fornecem uma visão geral do escopo e estrutura do modelo. Essa fase possibilita um entendimento rápido sobre o foco, a resolução e a complexidade do modelo.

Quadro 3.1 - Os sete elementos do protocolo ODD em seus respectivos agrupamentos.

VISÃO GERAL	Propósito
	Entidades, Variáveis de Estado e Escalas
	Síntese e Etapas do Processo
CONCEITOS DE DESIGN	Conceitos de Design
DETALHES	Inicialização
	Entrada de Dados
	Submodelos

A segunda parte do ODD faz referência aos Conceitos de Design que não descreve o modelo em si, mas descreve os conceitos gerais subjacentes ao escopo do modelo. O objetivo deste elemento do protocolo é vincular esse escopo aos conceitos gerais identificados no campo dos sistemas adaptativos complexos (Grimm e Railsback, 2005; Railsback, 2001). Sendo assim, essa parte incluem questões sobre o fenômeno de emergência, o tipo de interação entre indivíduos, se os indivíduos consideram previsões sobre condições futuras e elementos associados à estocasticidade considerada. Levando em consideração tais conceitos, cada modelo baseado em agente é integrado à estrutura maior da ciência dos sistemas adaptativos complexos (Grimm *et al.*, 2006).

Já a terceira parte do protocolo, Detalhes, composta por três elementos (inicialização, entrada de dados e submodelos), mostra os detalhes que foram omitidos na visão geral, ou seja, todas as informações necessárias para reimplementar o modelo e executar as simulações de linha de base são fornecidas. Em suma, a lógica por trás da sequência presente no ODD pode ser definida como: contexto e informações gerais, seguidas por considerações mais estratégicas e, *a posteriori*, mais detalhes técnicos. Essa sequência foi desenvolvida visando fornecer informações em uma ordem que permite o fácil entendimento sobre o modelo.

Considerando o amplo bojo de atuação dos modelos baseados em agentes, suas vantagens, desvantagens e o protocolo supracitado, esse campo é cada vez mais caracterizado por estudos, projetos e implementação de plataformas computacionais que objetivam simular os agentes, suas relações entre si e com o meio. Um aspecto importante na execução de um modelo e na simulação do comportamento dos agentes e suas interações é a necessidade de um mecanismo computacional (Macal e North, 2014). Nesse sentido, uma boa ferramenta corrobora para a fácil implementação, execução e análise dos resultados gerados pelos modelos baseados em agentes. Sendo assim, o próximo tópico será destinado à descrição das ferramentas já existentes.

3. 4 PLATAFORMAS DE MODELAGEM BASEADA EM AGENTES

Nos últimos anos em vários domínios científicos houve um aumento significativo no uso de modelagem baseada em agentes. Segundo Grignard *et al.* (2013), algumas dessas aplicações, que dependem de grandes conjuntos de dados, estão cada vez mais exigentes em termos de representação, simulação e interpretação de modelos complexos. Como consequência, foi notório o surgimento de várias plataformas dedicadas ao desenvolvimento de modelos baseados em agentes. Enquanto umas se limitam ao desenvolvimento de modelos simples, outras já permitem desenvolver modelos ricos e complexos. Entre essas plataformas de modelagem e simulação, pode-se citar o GAMA (Grignard *et al.*, 2013), NetLogo (Tisue e Wilensky, 2004) e o Cormas (Le Page e Bousquet, 2007). Os próximos subitens mostrarão um pouco mais sobre cada uma dessas ferramentas.

3.4.1 NetLogo

O NetLogo é uma linguagem de programação multiagente e um ambiente de modelagem para simular fenômenos naturais e sociais. É uma plataforma adequada para modelar sistemas complexos que evoluem ao longo do tempo. De acordo com Tisue e Wilensky (2004), no NetLogo, os modeladores podem dar instruções a centenas ou milhares de agentes independentes, todos operando simultaneamente. Isso possibilita explorar conexões entre os comportamentos de micronível dos indivíduos e os padrões de nível macro que emergem de suas interações.

Seu desenvolvimento vem sendo realizado desde 1999 e seu desempenho permite aos usuários abrir simulações e explorá-las, observando seu comportamento sob várias condições. O NetLogo é também um ambiente simples que permite com que os estudantes e pesquisadores criem seus próprios modelos, mesmo que não sejam programadores profissionais. Nesse sentido, o NetLogo foi projetado tanto para educação quanto para pesquisa. Plataformas que possuem uma linguagem própria apresentam uma aprendizagem mais fácil por parte de pessoas fora da área da ciência da computação (Taillandier *et al.*, 2018). O NetLogo, assim como o GAMA, apresentam essa especificidade, sendo suas linguagens NetLogo e GAML, respectivamente.

O NetLogo é um aplicativo independente que apresenta sua escrita baseada em Java, sendo assim, ele pode ser executado nas principais plataformas de computação. Segundo seus criadores, o NetLogo é um produto maduro, estável e rápido. É “*freeware*”, ou seja, qualquer um pode baixá-lo gratuitamente e construir modelos sem restrições. Ele vem com extensa documentação e tutoriais e uma grande coleção de modelos de amostra. Como linguagem, o NetLogo é um membro da família Lisp que, além de suportar agentes, também suporta a simultaneidade. No NetLogo os agentes móveis que são chamados de “tartarugas” movem-se sobre uma grade de “*patches*”, que também são agentes programáveis. Todos os agentes podem interagir entre si e executar várias tarefas ao mesmo tempo (Tisue e Wilensky, 2004).

De acordo com os mesmos autores, os usuários iniciantes do NetLogo podem começar a explorar a plataforma por meio da Biblioteca de Modelos do NetLogo. Esta coleção tem mais de 140 simulações pré-construídas que podem ser exploradas e modificadas. Essas simulações abordam muitas áreas, que vão desde as ciências naturais e sociais, incluindo biologia e medicina, física e química, matemática e ciência da computação até economia e psicologia social.

O NetLogo é hoje uma das plataformas mais populares e foi um poderoso impulsionador da disseminação da modelagem baseada em agentes nas ciências sociais. No entanto, mesmo com suas inúmeras extensões, o NetLogo sofre de limitações importantes, tais como: a impossibilidade de definir várias representações do ambiente; falta de recursos clássicos orientados a agentes, herança; integração básica de dados, ou seja, ausência de dados SIG; e desempenho computacional. Portanto, a maioria dos modelos desenvolvidos com o NetLogo são modelos simples, sendo raro o desenvolvimento de modelos mais descritivos (Taillandier *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o NetLogo apresenta a dificuldade de construir modelos modulares complexos, incrementais e baseados em dados. E torna-se ainda mais complicado quando diferentes fontes de dados, em diferentes níveis de representação, devem ser usadas. Interpretar esses modelos também é enfadoso, dada à falta de flexibilidade oferecida pela plataforma no quesito visualização e parametrização dos modelos (Grignard *et al.*, 2013).

3.4.2 CORMAS (COMmon-pool Resources and Multi-Agent Systems)

Já o CORMAS é uma plataforma de simulação baseada no ambiente de programação *VisualWorks* que permite o desenvolvimento de aplicações na linguagem orientada a objetos *Smalltalk* (Le Page e Bousquet, 2007). As entidades pré-definidas do CORMAS são classes genéricas existentes no *Smalltalk* das quais, por especialização e refinamento, os usuários podem criar entidades específicas para seu próprio modelo. O CORMAS facilita a construção de modelos baseados em agentes e seu projeto, além de monitorar e analisar os cenários das simulações.

O CORMAS foi desenvolvido principalmente para representar as interações entre os interessados e o uso de recursos naturais renováveis. Assim como o NetLogo, o CORMAS é muito popular e fornece alguns recursos interessantes aplicáveis a vida real. Isso ocorre, porque em comparação a outras plataformas, o CORMAS, que permite definir modelos no “*Smalltalk*”, é mais acessível a cientistas não especialistas em computação. Ele fornece aos modeladores ferramentas dedicadas à modelagem participativa e simulação, como modelagem gráfica, repetição de simulações e definição rica da interação entre os usuários. Essas características influenciam no seu sucesso em projetos nos quais as partes interessadas estão envolvidas (Taillandier *et al.*, 2018; Le Page e Bousquet, 2007).

Apesar de suas qualidades, o CORMAS é limitado quando se trata de definir modelos descritivos de larga escala, em particular no que diz respeito ao componente espacial. Na verdade, o CORMAS só pode gerenciar o ambiente por meio de grades, retangular ou hexagonal, e não permite gerenciar diretamente dados geográficos vetoriais (Taillandier *et al.*, 2018). Além disso, segundo os mesmos autores, o CORMAS oferecendo um recurso mais sofisticado, a complexidade em sua utilização por parte de modeladores com pouca habilidade em programação pode aumentar. Para modelos simples, os modeladores têm uma escolha real de linguagens de modelagem. No entanto, quando se trata de modelos em grande escala mais descritivos, os modeladores precisam usar uma linguagem de programação genérica (por exemplo, Java). Portanto, o desenvolvimento de tais modelos descritivos ainda requer habilidades de alto nível em programação.

3.4.3 GAMA (*GIS Agent-based Modeling Architecture*)

O GAMA tem como objetivo apoiar projetos de modelos espacializados, com múltiplos paradigmas e múltiplas escalas. Em particular, essa plataforma apresenta capacidades em relação à combinação perfeita de visualização 3D, gerenciamento de dados do Sistema de Informação Geográfica – SIG e modelagem multinível (Grignard *et al.*, 2013). O GAMA já possui alguns exemplos de projetos reais nos quais foram desenvolvidos modelos complexos e

apoiar o desenvolvimento de tais modelos requer abordar um conjunto de dificuldades relacionado à integração de dados, eficiência de cálculo e visualização da simulação.

Considerando todas as dificuldades supracitadas, uma das metas da plataforma GAMA é superar todos esses desafios (Taillandier *et al.*, 2018). Sendo assim, no GAMA, os usuários podem instanciar agentes a partir de dados, bancos de dados ou arquivos SIG e executar simulações em grandes escalas chegando a milhões de agentes. Outra vantagem do GAMA está associada à possibilidade de projetar flexíveis interfaces as quais incluem a possibilidade de organizar os diferentes painéis usando layouts de arrastar e soltar, poderosos inspetores de agentes, que permitem obter informações sobre um ou vários agentes, função de busca para obter informações e exemplos de usos de operadores, além de múltiplas camadas 2D/3D que exibem aspectos relativos à simulação (Grignard *et al.*, 2013; Taillandier *et al.*, 2018).

O GAMA surgiu em 2007 na forma de um projeto de código aberto e apesar de ser relativamente novo já passou por várias melhorias ao longo dos anos. Essas melhorias tiveram o intuito de atender às necessidades de sua crescente base de usuários. Entre as necessidades, a principal era lidar com diferentes formatos de dados, melhorando sua ergonomia, eficiência e estabilidade. Além disso, os desenvolvedores do GAMA pretendem fornecer novas maneiras de criar ou simular modelos. Sendo assim, sua versão mais recente, GAMA 1.8, trouxe várias melhorias, as quais se pode citar o enriquecimento da linguagem de modelagem com novos tipos de dados, novos formatos de dados suportados, novas arquiteturas de agentes e uma maior flexibilidade e eficiência da interface geral do usuário (Taillandier *et al.*, 2018). Segundo os mesmos autores, importantes capacidades de simulação interna também foram integradas à plataforma, como a execução lado a lado de simulações com diferentes conjuntos de parâmetros e a execução “*multithread*” de agentes dentro das simulações.

Em relação às arquiteturas dos agentes, o GAMA integra uma arquitetura de agentes baseada no paradigma BDI (“*Belief, Desire, Intention*” – Crença, Desejo, Intenção) (Bratman, 1987). Este paradigma propõe uma formalização direta do raciocínio humano através de conceitos intuitivos. A referida arquitetura foi desenvolvida para ser completa e disponível para um público não especializado. Ela dá aos agentes uma base de crença, de desejos, de intenção e

um mecanismo de raciocínio, um mecanismo social e um mecanismo emocional (Bourgais *et al.*, 2017; Caillou *et al.*, 2017). A arquitetura do agente também fornece uma nova maneira de descrever seu comportamento que está mais próximo do Paradigma Clássico de Sistemas Multiagentes e seu loop de Percepção-Decisão-Ação.

Dentro dessa linha BDI, os modeladores podem definir o que os agentes perceberão no início de cada etapa e como essas percepções afetam seu estado mental, tal como a criação de novas crenças e sua revisão. Para fornecer aos agentes alguns recursos de inferência, um conjunto de regras de atualização de crença e desejo pode ser definido. Adicionalmente, a maneira como os agentes atuam no ambiente será definida por meio de um conjunto de planos. Além disso, para dar mais flexibilidade ao modelador, blocos de reflexos clássicos podem ser adicionados (Taillandier *et al.*, 2018).

Uma das razões do sucesso das modernas plataformas de modelagem, na qual o GAMA se enquadra, ocorre devido à integração das plataformas, que permitem a fácil alteração entre uma perspectiva de modelagem, escrita do código, e uma perspectiva de simulação, execução da simulação. Essa possibilidade tem um impacto significativo no processo de modelagem e nos hábitos do modelador, pois permite experimentar de forma rápida o impacto da modificação do código no modelo, possibilitando testar o modelo antes de sua finalização (Taillandier *et al.*, 2018). Essa operação é possível graças a um intérprete da linguagem que pode ser chamado por meio de um console interativo, permitindo aos usuários interagir diretamente com agentes pertencentes a qualquer modelo, experimentos e simulações, além de obter um “*feedback*” direto da execução do código. Este console está disponível em toda a plataforma, permitindo, por exemplo, executar linhas de código, alterar as preferências do GAMA ou consultar a documentação mesmo quando nenhuma simulação estiver em execução.

Segundo Taillandier *et al.* (2018), apesar de todas essas funcionalidades, os modelos desenvolvidos no GAMA são geralmente centrados em torno de dados, ou seja, a plataforma permite aos modeladores uma visão dos arquivos cotidianamente utilizados, tais como, CSV, shapefile, arquivo OSM, ASC, Geotiff, entre outros. O intuito é de permitir que os

modeladores possam visualizar os dados que estão manipulando e os meta-dados que são mais úteis para a sua modelagem. Como exemplo, o visualizador shapefile permite não somente que o modelador visualize as várias geometrias, mas também o nome de cada atributo, o tamanho da caixa delimitadora ou a projeção.

Outra vantagem do GAMA está relacionada à utilização de seu editor de modelagem (Figura 3.3) que propõe como objetivo facilitar o trabalho do modelador. Este editor integra todas as ferramentas clássicas dos modernos Ambientes de Desenvolvimento Integrado (IDE – “*Integrated Development Environment*” em inglês), tais como, a auto-coloração, auto-compilação, preenchimento automático e a possibilidade de formatar ou comentar automaticamente algumas linhas de código. No editor do GAMA, também há a possibilidade de definir “*templates*”, que facilita o desenvolvimento e criação de modelos a partir de fragmentos pré-estabelecidos. Por fim, o editor está totalmente vinculado a uma extensa documentação on-line, permitindo que os modeladores obtenham informações sobre as diferentes palavras-chave, operadores e declarações disponíveis (Taillandier *et al.*, 2018).

Considerando todos os atributos supracitados e sintetizando alguns aspectos do GAMA, pode-se citar algumas características interessantes dessa plataforma, tais como:

- A possibilidade de acoplar e combinar facilmente modelos diferentes, possivelmente escritos usando outros conceitos de modelagem (ODE, PDE, Autômatos Celulares, Sistemas Dinâmicos);
- Suporte inerente a modelos de múltiplas escalas, espaciais e temporais;
- Suporte a dados SIG;
- Alguns recursos avançados, como o gerenciamento de várias topologias (gráficos, reticulados), uma interação estreita com a linguagem R e uma visualização 3D sofisticada; e
- Desenvolvido há mais de 10 anos por um conjunto de laboratórios, os quais são bem acessíveis e permitindo, assim, uma interação direta com os desenvolvedores.

Devido a todas as características da plataforma e as finalidades almejadas, o GAMA está evoluindo de uma plataforma de modelagem baseada em “agentes” para uma plataforma de

modelagem e simulação genérica “orientada a agente”, onde o acoplamento de dados heterogêneos e paradigmas de modelagem se tornaram uma regra e não uma exceção (Taillandier *et al.*, 2018).

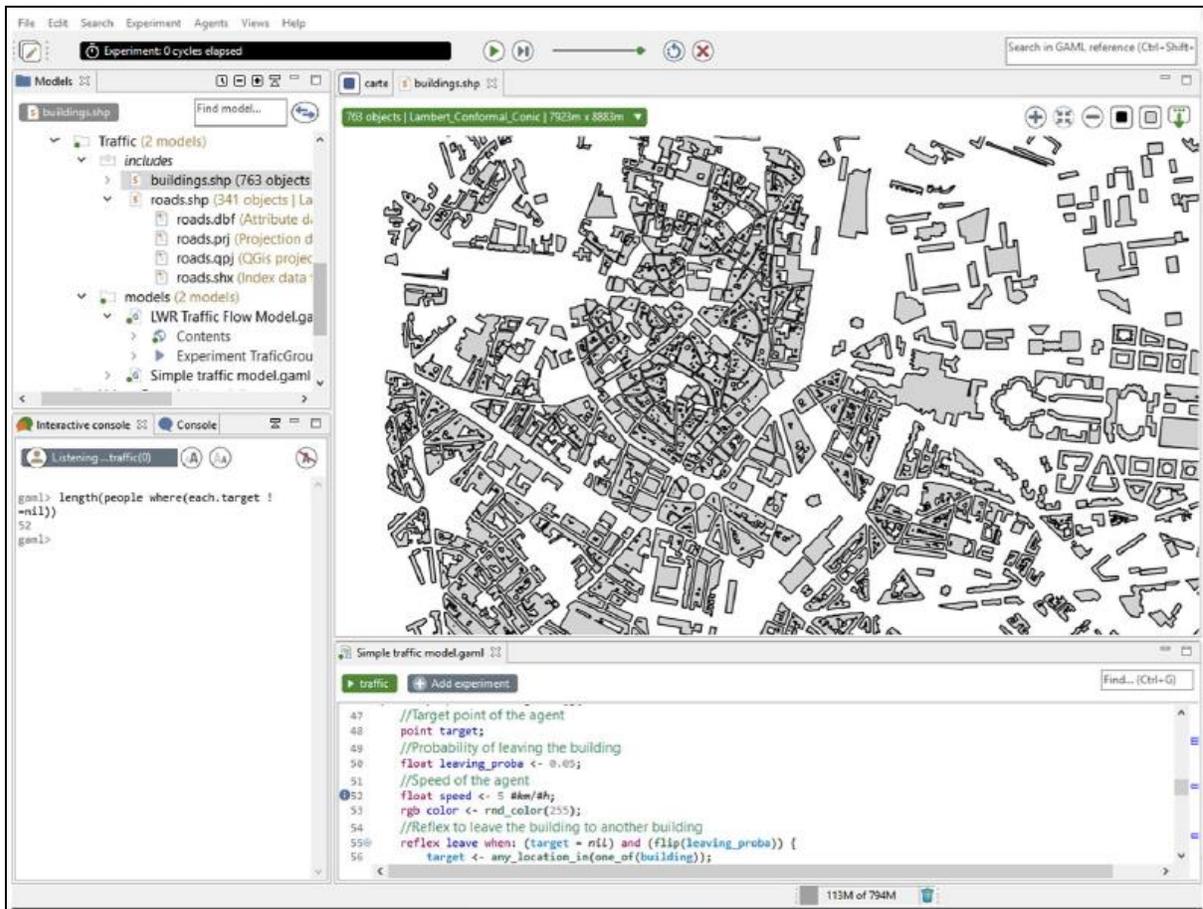


Figura 3.3 – Interface de modelagem do GAMA (Fonte: Taillandier *et al.*, 2018).

Segundo os mesmos autores, o principal objetivo por trás do desenvolvimento do GAMA foi combinar as vantagens de todas as plataformas, permitindo que os usuários construíssem modelos com a mesma rapidez e facilidade que no NetLogo e fossem além do que o CORMAS oferecem em termos de experimentos simulados. Para alcançar esse objetivo, a GAMA fornece aos modeladores uma linguagem de programação baseada em agentes simples de usar, um poderoso gerenciamento de dados geográficos, ferramentas de visualização flexíveis e a capacidade de realizar simulações com centenas de milhares de agentes. O GAMA é atualmente usado em muitos projetos que lidam com muitos domínios, tais como,

sistemas de apoio à decisão ambiental, sistemas urbanos, mobilidade, epidemiologia, adaptação às mudanças climáticas e mitigação de desastres. Para entender melhor sobre a linguagem de programação do GAMA, o próximo subitem descreverá melhor suas características.

3.4.3.1 Linguagem de programação da plataforma GAMA: GAML

A linguagem de programação utilizada no GAMA é denominada de GAML (“*GAMA Modeling Language*”) e pode ser definida como uma linguagem orientada a agentes, sendo sua aplicação predominante nas simulações baseadas em agentes. O paradigma da modelagem orientada a agentes dita que todo o “ativo” (entidades de um modelo, sistemas, processos, atividades, tais como, simulações e experimentos) pode ser representado como agente. Tendo isso em vista, o agente pode ser pensado como um componente computacional que apresenta seus próprios dados e executa seus próprios comportamentos, seja sozinho ou em interação com os outros agentes (Taillandier *et al.*, 2017).

Na origem, a GAML teve suas raízes na programação orientada a objetos como Java, *Smalltalk*, entre outras. No entanto, apresenta uma abordagem mais ampla que agrega conceitos importantes, tais como habilidades, definições declarativas ou migração de agentes, permitindo, assim, uma melhor expressividade dentro dos modelos. Sendo assim, a GAML está próxima das linguagens de modelagem baseadas em agentes, enriquecendo a representação tradicional de agentes com modernas noções de computação, tais como, herança, segurança de tipo ou agência multinível e oferecendo a possibilidade de usar diferentes arquiteturas comportamentais para agentes de programação (Taillandier *et al.*, 2018).

De acordo com o manual do GAMA (Taillandier *et al.*, 2017), no paradigma orientado a objetos, a noção de classe é utilizada para fornecer uma especificação para os objetos, já na GAML, os agentes são especificados por “espécies”, que lhes fornecem um conjunto de atributos, ações, reflexos. Outras maneiras do agente ser especificado é por meio das propriedades de sua população, por exemplo, sua organização espacial, grade e gráfico,

chamada topologia, ou por sua programação, ou seja, em que ordem e quando eles devem ser executados. Do mesmo modo, as “espécies” também podem ser construídas de forma composicional com a noção de habilidades, pacote de atributos e ações que podem ser compartilhadas entre diferentes “espécies” e herdadas por seus “filhos”. Quando uma “espécie” herda suas propriedades de outra “espécie”, ela cria um relacionamento semelhante à especialização no design orientado a objetos. Sendo assim, no GAML, qualquer “espécie” pode ser incluída em outra espécie, tornando essa uma “macro-espécie”.

Escrever um modelo em GAML consiste em definir uma “espécie” que representa as entidades que povoam esse modelo e que está incluída em um ou vários planos experimentais entre os quais o usuário poderá escolher o que deseja executar. Quando uma simulação é iniciada, ou seja, quando o usuário solicita ao GAMA que execute um plano de experimentos, a plataforma cria um único agente no plano de experimento que será responsável por criar e executar os referidos agentes na simulação. Um experimento irá gerenciar como as simulações serão executadas e, em particular, quais são os valores dos parâmetros e como são exibidos os resultados das simulações (Taillandier *et al.*, 2018). Após a exposição das plataformas existentes, um breve relato sobre as aplicações dos modelos baseados em agente na gestão de recursos hídricos será realizado.

3.5 APLICAÇÕES DE MODELOS BASEADOS EM AGENTE PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Dentro do contexto de sistemas complexos, o processo de negociação na gestão de recursos naturais é um tema muito importante, pois lida com diversos agentes, grupos de interesses e instituições que interagem com o ecossistema. Com o objetivo de modelar todos os aspectos da gestão de recursos naturais, é necessário usar grupos representativos de pessoas para compreender o funcionamento dos processos sociais e políticos (Adamatti *et al.*, 2005). Por muitos anos, esses problemas ambientais foram examinados exclusivamente do ângulo de um sistema natural sujeito a perturbação antrópica ou do ângulo de um sistema social sujeito a restrições naturais. No primeiro caso, uma dinâmica do recurso é feita com cuidado e as dinâmicas sociais são resumidas em um tipo de exploração de recursos. No segundo caso, o

estudo concentra-se no problema de uso de recursos, como exemplo, a maximização dos benefícios obtidos por meio de um recurso restrito (Bousquet *et al.*, 1999).

De acordo com Basco-Carrera *et al.* (2018), a representação do sistema físico é apropriada para a ação coletiva em pequena escala, mas frequentemente insuficiente para ser usada em processos formais e informados de tomada de decisão relacionados ao planejamento e formulação de políticas em escalas maiores. Durante vários anos, a modelagem baseada em agentes tem sido utilizada no campo do gerenciamento de recursos naturais para facilitar a compreensão de sistemas complexos, permitindo a simulação de seu funcionamento em computadores (Ducrot *et al.*, 2007). Segundo Berglund (2015), O modelo baseado em agentes é uma ferramenta que pode ser aplicada na definição e simulação dos recursos hídricos, sistemas adaptativos complexos, a fim de abordar a complexidade em seu planejamento e gerenciamento.

A gestão da água é, em última análise, um problema de valor social que carece de formulação definitiva, e as soluções para esses problemas são difíceis de serem supostos de forma objetiva (Berglund, 2015). Além disso, podem envolver decisões irreversíveis e produzem consequências altamente incertas e desconhecidas. Ao longo das décadas, foram desenvolvidas ferramentas de análise de sistemas para abordar alguns aspectos desses problemas no planejamento e gestão de recursos hídricos, incluindo, por exemplo, a natureza conflitante dos objetivos de múltiplos atores (Hwang e Masud, 1979), objetivos não modelados, como preferências políticas e sociais (Brill, 1979); e incerteza sobre os parâmetros e resultados do sistema (Refsgaard *et al.* 2007). Mesmo com diversas ferramentas já desenvolvidas, o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos representam um subdomínio relativamente novo da modelagem baseada em agentes (Niazi e Hussain, 2011).

Apesar de sua abordagem recente, diferentes tipos de modelos baseados em agentes já foram desenvolvidos voltados para a gestão de recursos hídricos. Por exemplo, Thoyer *et al.* (2001), descrevem simulações sobre negociações entre grupos diversificados de usuários de água, na escala da bacia de captação, do ponto de vista economista. Moss *et al.* (2001) estavam mais concentrados na representação das respostas domiciliares à política de demanda de água, com

ênfase no comportamento social. Já outros modelos estão lidando com a alocação de água em esquemas de irrigação (Barreteau, 2004; Becu *et al.*, 2001). Os modelos mencionados relacionados às questões de irrigação enfatizam: interações entre dois tipos de agentes, agricultores e fornecedores de água ou gerentes; e determinação de padrões de cultivo no nível da propriedade, vinculados ao consumo de água no nível da parcela.

No planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, a modelagem baseada em agentes é aplicada para explorar, simular e prever o desempenho dos projetos de infraestrutura e das decisões políticas à medida que esses são influenciados pelas tomadas de decisão humana, comportamentos e adaptações (Berglund, 2015). Os modelos baseados em agentes e de sistemas hídricos podem ser integrados em uma estrutura analítica para capturar as interações e os “*feedback*” descentralizados entre sistemas sociais e de infraestrutura, uma vez que esses afetam a demanda, a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos. Logo, abastecimento, armazenamento e distribuição de água são sistemas de infraestrutura que podem ser explorados como sistemas sociotécnicos, pois estão em contínua relação com a sociedade e o meio ambiente, componentes que afetam de forma significativa os desempenhos dos citados sistemas (Fischer e Amekudzi, 2011).

Devido ao papel significativo das dimensões sociais nas decisões de uso da água de membros individuais de uma comunidade, um entendimento sobre os fatores sociais e sua conexão com recursos naturais e sistemas de infraestrutura pode criar “*insights*” sobre o surgimento de uma escassez hídrica ou, mais otimistamente, culturas eficientes em água (Braden et al. 2009). As partes interessadas podem resistir ou apoiar novas políticas, comunicar-se com outras partes interessadas sobre problemas de água e fazer mudanças tecnológicas ou comportamentais para atualizar o uso da água. O “*feedback*” em infraestrutura e sistemas naturais ocorre quando os consumidores ajustam o uso de recursos em resposta a mensagens de concessionárias e outros consumidores, mudanças na qualidade e disponibilidade de recursos, parâmetros econômicos e culturais.

Na gestão de recursos hídricos dois motivos podem acarretar conflitos: a ausência de uma percepção comum que leva em consideração valores, normas e padrões ou a diferença de

interesses em relação às problemáticas presentes nos recursos hídricos da região (Basco-Carrera *et al.*, 2018). Prioridades de alocação de água, aumento do estresse hídrico causado por mudanças na demanda de água devido à urbanização ou falta de uma boa governança são causas comuns de disputas entre as partes interessadas e levam a conflitos permanentes (Boisseau, 2005). Por esse motivo, ferramentas que favoreçam a cooperação entre as partes interessadas e promovam o consenso entre as mesmas devem ser utilizadas e exploradas nos processos existentes na modelagem baseado em agente, especialmente, quando essa é aplicada a gestão de recursos hídricos. Nesse sentido, um tipo de modelagem denominada de modelagem participativa que engloba todas essas características e que será definida e explicitada no próximo tópico.

3.6 MODELAGEM PARTICIPATIVA

Segundo Basco-Carrera *et al.* (2018), a modelagem participativa pode ser considerada uma solução apropriada para abordar sistemas complexos que envolvem bacias hidrográficas de médio e grande porte. Essa abordagem surge por meio de lacunas presentes no desenvolvimento e na aplicação de sistemas tradicionais de apoio à decisão e, além disso, responde a crescentes demandas por uma maior integração entre os tomadores de decisão e as partes interessadas na análise quantitativa de sistemas complexos.

Na modelagem participativa, em vez dos resultados da pesquisa de simulação serem simplesmente apresentados aos usuários somente ao final do projeto, as partes interessadas são envolvidas em todas as etapas, desde a formulação da pergunta inicial relativa à pesquisa até a síntese das conclusões. Segundo Gilbert e Troitzsch (2005), o processo de envolvimento na modelagem das partes interessadas de uma forma intrínseca apresenta várias vantagens entre elas:

1. Pode-se ter mais confiança que a questão abordada na pesquisa é, de fato, aquela cuja resposta será relevante para os usuários;
2. As partes interessadas têm maior probabilidade de sentir alguma obrigação em responder às descobertas da pesquisa se estiverem intimamente envolvidas no processo,

fazendo com que o relatório da pesquisa seja menos provável de ser arquivado ou esquecido;

3. As partes interessadas muitas vezes são uma rica fonte de conhecimento sobre o fenômeno que está sendo modelado; e

4. O envolvimento da parte interessada na pesquisa provavelmente aumentará seu interesse e nível de conhecimento sobre as questões.

Em relação à primeira vantagem, no modo tradicional dos processos de modelagem, facilmente os projetos estudam questões de interesse do pesquisador, mas que apresentam pouca relevância para o público alvo da pesquisa. Sendo assim, trazer as partes interessadas em um estágio inicial ajuda a escolher bem qual será o foco do estudo. Além disso, as vantagens supracitadas da modelagem participativa podem superar as desvantagens, que incluem a complicação e a despesa adicional em envolver as partes interessadas; a necessidade de manter a motivação das partes interessadas durante toda a pesquisa; e a possibilidade de um resultado enviesado devido aos pontos de vista particulares das partes interessadas (Hare *et al.*, 2003).

A simulação baseada em agentes é adequada para a implementação da pesquisa participativa (Ramanath e Gilbert, 2004). A ideia de agentes autônomos realizando atividades e comunicando entre si é fácil de entender para pessoas que não estão familiarizadas com a modelagem. Outra vantagem é que às vezes é possível projetar o modelo para que os próprios interessados possam atuar como agentes. Como exemplo, tem-se a possibilidade de executar o modelo, não como uma simulação de computador, mas como um jogo de tabuleiro, com usuários desempenhando papéis e seguindo as regras que de outra forma teriam sido programadas para os agentes computacionais. Alternativamente, um ou mais "agentes" em uma simulação computacional podem ser executados por uma única pessoa que seleciona quais ações realizar em cada etapa e, em seguida, o computador executa os demais agentes de uma maneira comum. O benefício desse procedimento é que a pessoa pode obter um conhecimento aprofundado da importância do desenvolvimento do seu papel.

Essa abordagem foi adotada em um projeto realizado para ajudar as partes interessadas envolvidas no fornecimento de água doméstica da cidade de Zurique, na Suíça. O "*Zurich Water Game*" (Hare *et al.*, 2003) foi uma simulação multiagente na qual alguns dos agentes podiam ser alterados para serem controlados pelos jogadores. O jogo era rodado pela Internet com um servidor central, que gerava o ambiente e simulava todos os agentes que não estavam sendo controlados diretamente pelos jogadores. Usando o jogo, os jogadores poderiam explorar as consequências de suas próprias decisões sobre as estratégias dos outros jogadores e seus efeitos em suas próprias oportunidades e estratégias.

Em suma, a modelagem participativa difere das abordagens tradicionais ao envolver as partes interessadas na escolha de elementos que estarão presentes na modelagem, tais como, variáveis, dados, calibração, suposições, cenários ou alternativas. Essas escolhas não estão mais no domínio dos técnicos modeladores. Em vez disso, tomadores de decisão e partes interessadas estão envolvidos em várias etapas do processo de planejamento. Uma abordagem denominada de ComMod engloba esse tipo de modelagem, sendo assim, para explorar um pouco mais sobre esse tema, o item 3.5.1 será destinado à apresentação e explicação sobre o ComMod.

3.6.1. Modelagem participativa por meio do método *Companion Modelling* (ComMod)

O método denominado de ComMod pode ser considerado um tipo de modelagem participativa. Esse método, que tem origem francesa, surgiu em 1996 devido aos esforços comuns de um grupo de pesquisadores das áreas de ecologia e de sistemas sociais. A referida abordagem é indicada para problemáticas semiestruturadas, ou seja, em outras palavras, problemas orientados para as partes interessadas. Conseqüentemente, o método é frequentemente aplicado a situações onde há um baixo grau de consenso entre as partes interessadas, principalmente em relação a valores, normas e padrões, crenças e ambições, gerando, assim, um contexto de interação competitiva (Basco-Carrera *et al.*, 2018).

Dentro desse contexto competitivo, o ComMod tem como um de seus principais objetivos gerar uma reflexão coletiva e ajudar a resolver disputas existentes entre as partes interessadas,

levantando diferentes pontos de vista. Essa abordagem baseia-se na co-construção de modelos com as partes interessadas, no desenvolvimento de uma representação do sistema físico e social, sendo o último estruturado em redes de agentes humanos (Bousquet *et al.*, 1999). Essa representação e a co-construção do modelo são facilitadas pela estrutura proposta pelo ComMod, que utiliza um co-design que associa o “*Role-Playing Game*” (RPG sigla em inglês para jogo de representação de papéis) e os modelos baseados em agentes. A união de ambos os processos dentro de uma única estrutura visa a arquitetar e a delinear as diferentes práticas, conhecimentos e experiências sobre um elemento-chave presente no sistema, assim como, possíveis soluções e objetivos a serem coletivamente atingidos.

Em particular, a exploração coletiva e a co-construção do mundo virtual são os principais momentos da metodologia ComMod. Apesar da aplicabilidade do método em qualquer etapa do ciclo de planejamento/gerenciamento, sua utilização é majoritariamente presente nos estágios iniciais dos processos de planejamento, onde o foco principal é criar uma visão conjunta entre as partes interessadas e, assim, aliviar as tensões existentes entre as mesmas. Os estágios preliminares geralmente consistem na análise da situação, identificação de problemas e desenho das estratégias que podem ser selecionadas para resolver a problemática (Basco-Carrera *et al.*, 2018).

Para garantir a participação efetiva das partes interessadas, a mobilização das capacidades particulares de facilitação dos “*commodiens*” (termo em francês utilizado para definir os indivíduos que implementam uma abordagem de modelagem de acompanhamento) garantem um compartilhamento efetivo de informações, percepções, pontos de vista e até mesmo a produção de respostas coletivamente aceitas para a pergunta feita. Os “*commodiens*” são considerados parte neutra na metodologia e apoiam o processo de negociação. As interações entre os “*commodiens*” e as partes interessadas enfatizam a importância de envolver os últimos no processo de planejamento e na modelagem. Sendo assim, a metodologia melhora a cooperação entre as partes interessadas, gerando um duplo benefício ao desenvolver uma base de conhecimento comum e individual (Basco-Carrera *et al.*, 2018).

Outra característica marcante do ComMod é o processo cíclico entre o modelo conceitual e a situação local (Barreteau *et al.*, 2014), como mostra a Figura 3.4.

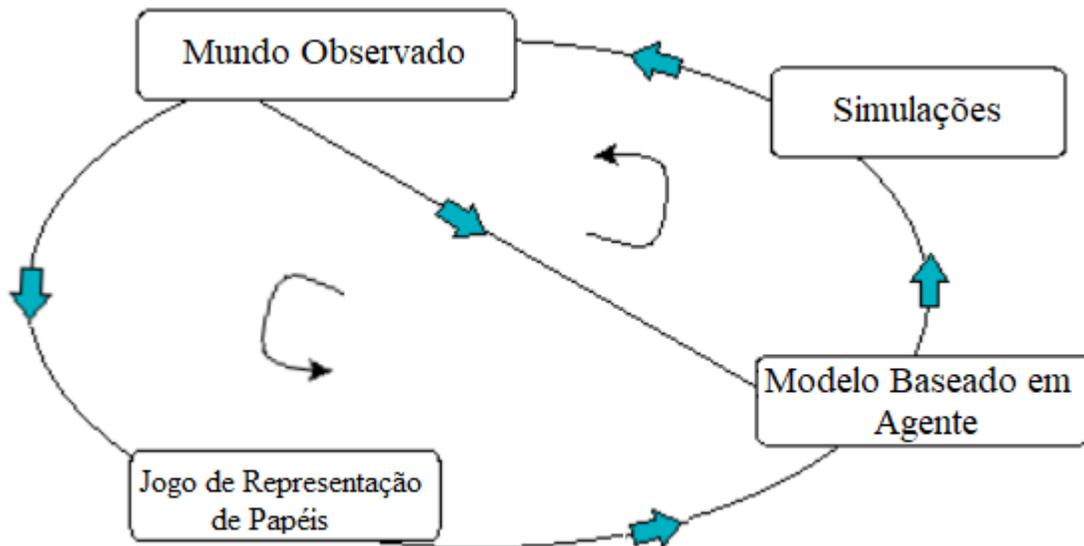


Figura 3.4 - Associação de modelo baseado em agente, jogos de representação de papéis e observações de campo em uma abordagem cíclica (Barreteau *et al.*, 2001, modificado).

Desta forma, as abordagens e ferramentas presentes na modelagem participativa podem ser adaptadas, mantendo suas principais características e elementos, no intuito de apresentar uma aplicação mais ampla. Levando em consideração os vários trabalhos já realizados, Barreteau *et al.* (2014) identificaram os principais pontos comuns na implementação de um processo ComMod e eles são:

- I. Quatro categorias de protagonistas principais (leigos, pesquisadores, técnicos e institucionais);
- II. Criação de um mundo virtual;
- III. O seguimento de etapas sequenciais;
- IV. Inclusão de momentos coletivos onde há interação entre os participantes;
- V. Co-construção do modelo conceitual inicial;
- VI. Processo iterativo; e
- VII. Processos contendo “*loops*” e ciclos.

Encontram-se na literatura várias aplicações do ComMod, sendo mais frequentemente utilizado para estudos relacionados à gestão de recursos naturais (Daré *et al.*, 2009). Suas aplicações vão desde manejo de bacias hidrográficas, manejos florestais, dinâmicas de uso do solo, irrigação, dinâmicas relacionadas à água, manejo costeiro, entre outras. Segundo Daré *et al.* (2009) e Étienne (2013), o ComMod tem como uma de suas principais bases o compartilhamento de conhecimentos para propiciar relações entre os indivíduos e entre os indivíduos e os recursos naturais, gerando sistemas sócio-ecológicos. A intervenção presente no ComMod tenta conciliar o reconhecimento no jogo da diversidade de interesses, as posições éticas e a integração de considerações científicas, além de favorecer ações coletivas futuras (Étienne, 2013).

O ComMod pode ser considerado uma abordagem baseada em sistemas multiagentes (Ruankaew *et al.*, 2010), pois a parte que engloba as questões antrópicas, assim como outros sistemas naturais, é representada por sistemas de agentes interagentes. Essas interações entre os agentes humanos, as dinâmicas e os recursos naturais são analisadas utilizando os resultados do jogo de interpretação de papéis. Já as simulações computacionais são utilizadas principalmente para fornecer informações mais detalhadas sobre o sistema físico ou para receber a representação do comportamento dos sistemas antrópicos por meio dos agentes. Mesclar os dois produtos ajuda a ter uma representação compartilhada dos sistemas sócio-físicos e suas interações (Bousquet e Trébuil, 2005).

Em suma, na abordagem ComMod, a situação das ações pode ser definida por um conjunto de variáveis: posições dos participantes e sua capacidade de controlar os outros participantes, o tipo de informação gerada, os custos e benefícios dos resultados das interações. Todo o processo materializa o espaço social em que os participantes interagem. Sendo assim, a arena de ação é o contexto social de intervenção e também depende de fatores exógenos que afetam sua estrutura. Essas variáveis exógenas podem ser caracterizadas por três dimensões: a dimensão institucional (as regras de uso), biofísica (atributos biofísicos em jogo), e social (os atributos da comunidade social no qual ocorre a arena de ações). Todos esses elementos e suas interações são mostrados na Figura 3.5.

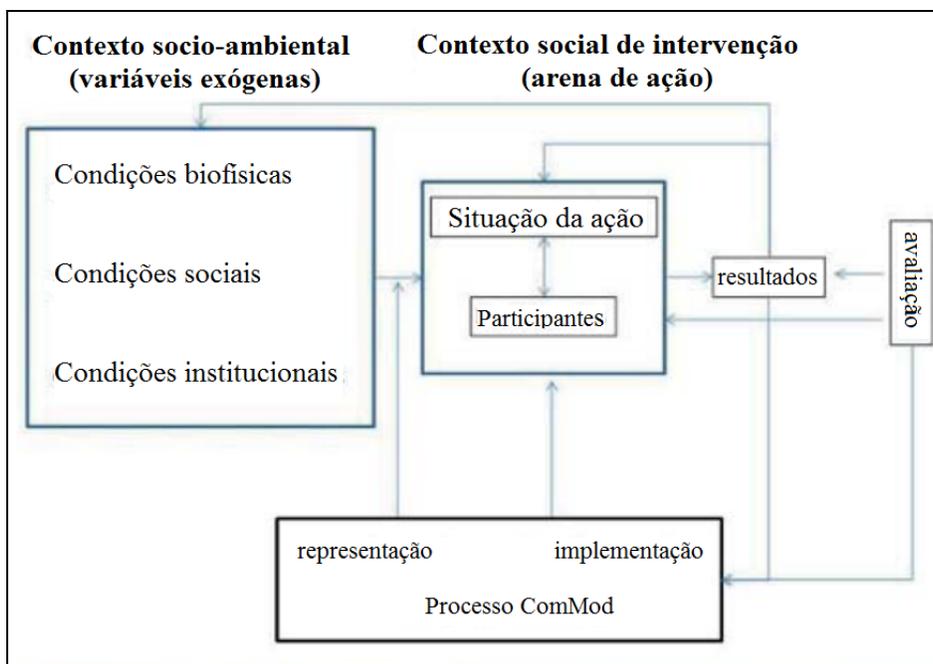


Figura 3.5 – Elementos e interações presentes na arena de ação e nas variáveis exógenas (Daré *et al.*, 2009).

Desta forma, essa abordagem colabora para a promoção de conhecimentos e mecanismos sistêmicos físicos, além de um entendimento sobre comportamentos, interações e fatores antrópicos (Castella *et al.*, 2005). O processo iterativo, gerado pelos “*loops*” e ciclos, cria um ambiente que facilita o desenvolvimento do conhecimento por meio da aprendizagem colaborativa (Voinov e Bousquet, 2010). Como consequência, essa abordagem também apresenta como saída uma representação comum e aceita do sistema ali presente, sendo esse elemento fundamental para a aprendizagem colaborativa, pois facilita a modificação de percepções ou comportamentos através da aprendizagem social e compartilhada (Hare *et al.*, 2003; Collins e Ison, 2009; Evers e Cols., 2012).

Na metodologia ComMod também há a possibilidade de realizar a co-construção de um modelo junto à comunidade. Entretanto, nessa dissertação o foco será na adaptação de um jogo, que será utilizado para refletir melhor a realidade da comunidade local, e a utilização de um modelo baseado em agentes em uma esfera ainda primária se comparado ao processo de co-construção de um modelo. Sendo assim, um jogo de papéis bastante utilizado para a gestão colaborativa da água é o denominado WaDiGa.

Segundo Trébuil *et al.* (2017), o WaDiGa (“*WATER DISTRIBUTION GAME*”), em tradução livre “jogo de distribuição de água”, foi desenvolvido pelos pesquisadores Guy Trébuil, Christophe Le Page e Claude Garcia. Sua origem ocorreu a partir do ano de 2002 em um processo de modelagem participativa, que possibilitou a construção de alguns jogos de representação de papéis e várias simulações computacionais. Esses jogos tinham como finalidade examinar problemas concretos de gerenciamento de uma sub-bacia montanhosa com diferentes tipos de agricultores na aldeia Akha de Mae Salaep província de Chiang Rai, no norte da Tailândia.

No bojo da utilização da abordagem ComMod, a gestão de recursos hídricos não é uma exceção, é possível verificar a existência de trabalhos associados a essa temática. Dentre as diversas pesquisas há uma diversidade áreas, sendo elas relativas ao contexto geográfico, a variedade de países em diferentes continentes, a áreas rurais e urbanas, a partes interessadas envolvidas e questões ambientais abordadas. O Quadro 3.2 mostra exemplos de trabalhos já realizados com o ComMod os quais abrangem a área de gestão de recursos hídricos.

Nessa abordagem, o facilitador cria ou intervém em uma arena onde os participantes interagem em uma situação particular afetada pelo contexto que existia antes de sua implementação. Essas interações produzem resultados, decisões ou ações que, por sua vez, afetam os participantes e modificam parcialmente esse contexto.

Os principais protagonistas analisados nessa dissertação foram famílias já assentadas pertencentes ao Assentamento Canaã do movimento MST, que, assim, podem ser incluídas na categoria de organizações e grupos de base. Para entender melhor os procedimentos abordados nessa dissertação o próximo tópico será destinado à metodologia utilizada.

Quadro 3.2 – Trabalhos realizados utilizando a abordagem ComMod.

TEMA	REFERÊNCIA	PLATAFORMA	MODELO/ LOCAL	OBJETIVOS
Alocação de água	Barreteau <i>et al.</i> , 2003	Macro Excel	SimSage/ GibiDrome (França)	Descrever como um processo de negociação envolvendo alocação de água entre agricultores pode ser promovido pelo uso de modelos baseados em agentes.
	Adamatti <i>et al.</i> , 2005	CORMAS	JogoMan (Brasil)	Caracterizar o protótipo JogoMan, que utiliza técnicas de simulação baseada em múltiplos agentes e jogos de RPG.
	Farolfi <i>et al.</i> , 2010	MIMOSA	KatAWARE (África do Sul)	Formalizar e sistematizar as fases de modelagem de um processo iterativo e participativo.
Irrigação	Barreteau <i>et al.</i> , 2004	SmallTalk no VisualWorks	SHADOC (Senegal)	Demonstrar o potencial de modelos baseados em agentes para pesquisas voltadas a viabilidade de sistemas irrigados.
	Faysse <i>et al.</i> , 2007	Plataforma “multi-stakeholder”	Larq’asninchej (Bolívia)	Melhorar a gestão dos comitês de água potável e analisar os impactos da urbanização sobre os canais de irrigação.

Quadro 3.2 – (Continuação).				
Gestão da Qualidade da Água	Clavel <i>et al.</i> , 2008	CORMAS	AguAloca (Brasil)	Projetar ferramentas que fortaleçam a capacidade dos comitês de bacias, integrando a questão qualitativa e sua relação com a gestão.
Demanda Urbana	Moss <i>et al.</i> (2001)	SDML	Modelo Thames (Inglaterra)	Representar as variações na demanda urbana em resposta às políticas locais, com ênfase no comportamento social.
Gestão de Conflitos pela Água	Thoyer <i>et al.</i> (2001)	Matlab	“ <i>Bargaining Model</i> ” Modelo de barganha (França)	Em uma escala de sub-bacia, descrever simulações sobre negociações entre grupos diversos de usuários.
	Ruankaew <i>et al.</i> 2010	CORMAS	(Tailândia)	Promover um conhecimento mútuo e mostrar a importância de uma discussão colaborativa no processo de negociação e tomada de decisão.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os métodos e procedimentos que foram utilizados para obter os principais resultados que possibilitaram o alcance dos objetivos propostos nesta dissertação. A metodologia escolhida foi baseada em partes pelo método ComMod que, como referenciado no Capítulo 3, apresenta a junção da aplicação de jogos de representação de papéis e simulações computacionais. O método ComMod vem sendo aplicado principalmente em tópicos relacionados às interações entre sociedade e meio ambiente, o que justifica a escolha desse método para o desenvolvimento da dissertação. A abordagem adotada nesse estudo pode, portanto, ser conceituada como um primeiro passo para o desenvolvimento de uma modelagem participativa que segue os princípios e as características do método ComMod. Na Figura 4.1 é possível visualizar o fluxograma referente à metodologia realizada.

No intuito de aplicar a metodologia proposta e tentar entender o contexto e a gestão da água presente na Bacia do Rio Descoberto, uma comunidade rural foi selecionada. A região da Bacia do Rio Descoberto foi escolhida devido a sua importância no que tange o sistema de abastecimento público do Distrito Federal, onde a mesma é responsável por 58,5% da água produzida e pelo atendimento de 61,52% da população (CAESB, 2014; PIECH, 2017). Já em relação à comunidade, foi escolhido o Assentamento Canaã, localizado na região administrativa de Brazlândia. Foi necessária uma articulação prévia com a comunidade local no intuito de viabilizar a realização da dinâmica relativa ao jogo de representação de papéis. Sendo assim, para um maior entendimento sobre algumas das características geográficas, econômicas e sociais da região, o próximo tópico será destinado a uma breve descrição da Bacia do Descoberto e subsequente do Assentamento Canaã juntamente com o processo de mobilização realizado.

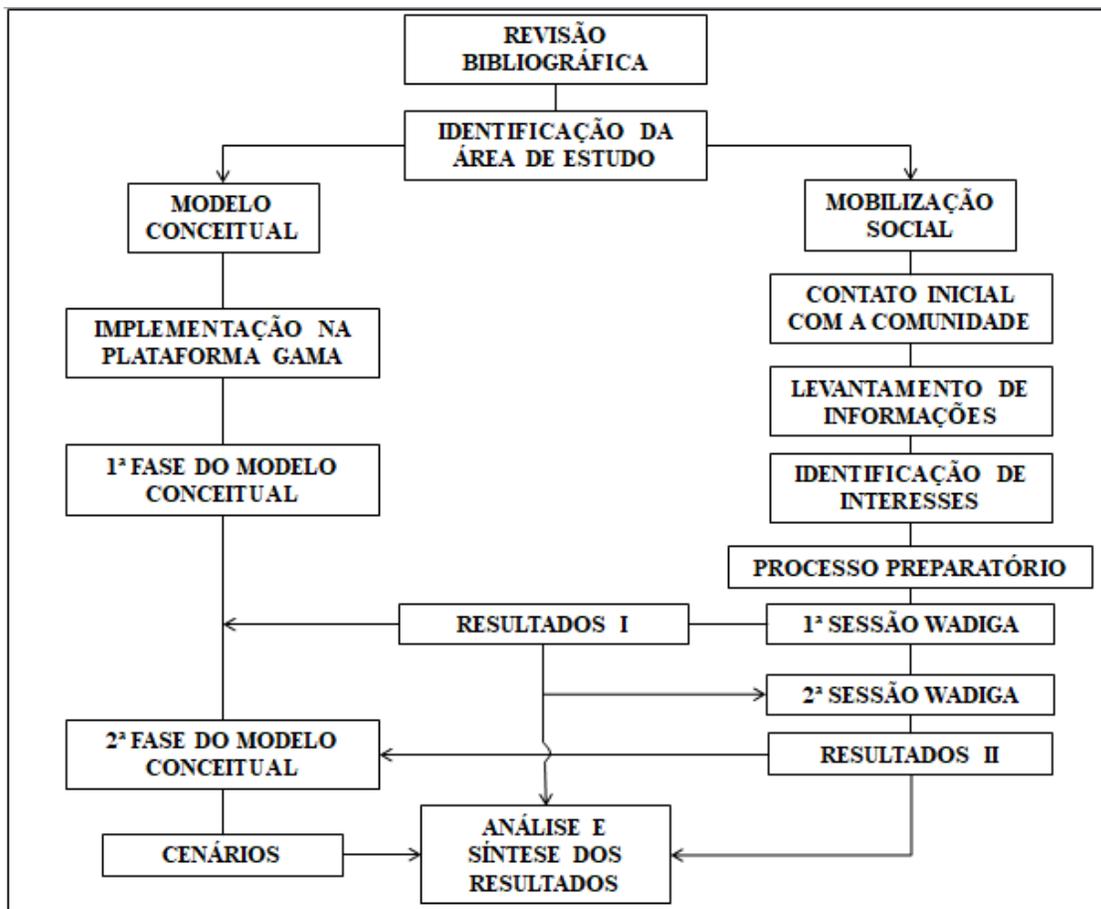


Figura 4.1 – Fluxograma Metodologia.

4.1 BACIA DO DESCOBERTO

O clima presente na Bacia do Rio Descoberto, segundo a classificação de Köppen, pode ser enquadrado entre dois tipos, o tropical de savana e o temperado chuvoso de inverno seco (GDF, 2006). O clima presente na Bacia é caracterizado por dois períodos distintos: um inverno seco com chuvas escassas, que vai de maio a setembro, e um verão chuvoso com elevados níveis de precipitação, que vai de outubro a abril. As médias anuais de precipitação na bacia podem ultrapassar 1500 mm. Já a temperatura anual varia em média de 18° a 22°C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes, e os meses de junho e julho os mais frios. A umidade relativa média anual é de 55%, porém, nos meses mais secos, que são julho e agosto, chega a uma média de 18% (Costa, 2011). Ainda segundo o mesmo autor, a topografia

da bacia hidrográfica do Descoberto é caracterizada pela predominância de relevo pouco inclinado, onde são encontrados solos do tipo latossolos vermelho amarelo e vermelho escuro, característicos da região de Cerrado.

A bacia do Rio Descoberto está localizada na parte oeste do Distrito Federal na divisa com o estado de Goiás e faz parte da Área de Preservação Ambiental – APA do Descoberto. Segundo Bueno (2016), a bacia possui uma área de 438,52 km² que está distribuída entre o Distrito Federal, 363,5 km² (82,9%), e o Estado de Goiás, onde abrange parte dos municípios de Águas Lindas de Goiás, 58,8 km² (13,4%), Padre Bernardo, 16,1 km² (3,7%) e uma pequena parcela do município de Cocalzinho de Goiás, 0,05 km² (0,01%). Apesar de estar presente em duas unidades da federação, é notória a extensão territorial localizada no Distrito Federal, como mostra a Figura 4.2.

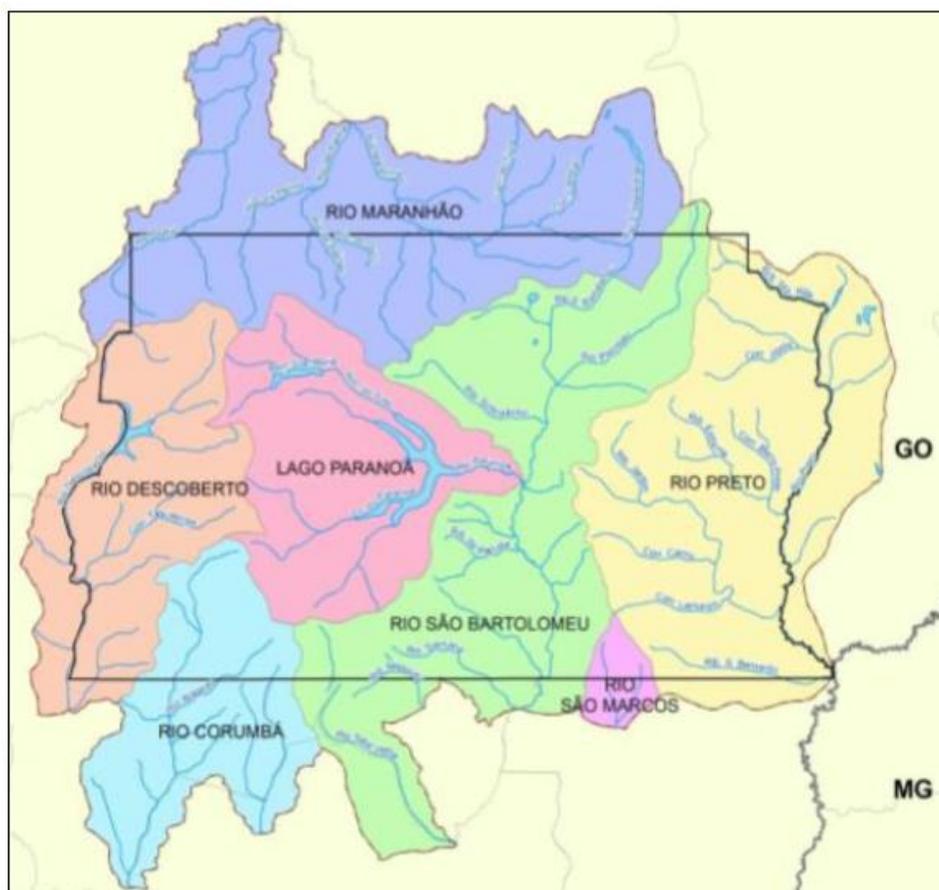


Figura 4.2 – Bacias hidrográficas presentes no Distrito Federal (Fonte: Adasa , 2012).

Apresenta como principal característica econômica a atividade agrícola, entretanto, possui pequenos núcleos urbanos, sendo a Região Administrativa de Brazlândia o núcleo mais significativo. Segundo o Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal – ZEE/DF (GDF, 2017a), ao longo dos anos, a cidade de Brazlândia tornou-se uma das maiores produtoras de hortifrutigranjeiros do Distrito Federal, sendo seu território composto por seis núcleos rurais e apresentando uma parcela de 75,7% de zona rural. Dados da Emater *apud* GDF (2017a) indicam que em Brazlândia cerca de 2,8 mil propriedades rurais produzem 34% de tudo o que é consumido no Distrito Federal. O cultivo de morango é o principal da região, levando Brazlândia a ser a sétima maior produtora da fruta no país e a primeira da Região Centro-Oeste. Além disso, na zona rural de Brazlândia desenvolve-se agricultura familiar e não familiar, hortaliças, fruticultura, bovinocultura e suinocultura (GDF, 2017a).

A Região Administrativa de Brazlândia – RA IV, oficialmente criada pela Lei nº 4.545, de 10 de dezembro de 1964, está a 47 km de Brasília e conta com uma população de 53,8 mil habitantes, correspondendo a menos de 2% da população do Distrito Federal. A RA de Brazlândia abriga os Núcleos Rurais Alexandre Gusmão (PICAG), Dois Irmãos, Engenho Queimado, Desterro, Chapadinha e Barreiro e o Lago Descoberto e integra a Unidade de Planejamento Territorial – UPT Oeste (GDF, 2017a; GDF, 2018). Apesar de integrar a UPT Oeste, a cidade de Brazlândia se diferencia das demais cidades presentes na mesma UPT (Taguatinga, Samambaia e Ceilândia). Isso ocorre em virtude de sua característica rural, por sua área urbana ser cercada por duas regiões de interesse ambiental, Floresta Nacional de Brasília – FLONA, e sua proximidade com o Lago Descoberto.

A presença do Lago Descoberto na região traz ênfase para a questão da gestão de recursos hídricos e torna a Bacia do Descoberto uma área estratégica. O Rio Descoberto drena o Distrito Federal no extremo oeste de seu território, separando-o do estado de Goiás. No extremo oeste da bacia, localiza-se o Lago do Descoberto, formado pelo represamento do Rio Descoberto, que teve como objetivo promover grande parte do abastecimento de água do Distrito Federal. De acordo com Plano de Integrado de Enfrentamento a Crise Hídrica – PIECH (GDF, 2017b), o Lago Descoberto possui uma área alagada de 12,5 Km², volume de

aproximadamente de 86,0 milhões de m³ com o nível de água à cota de 1.034. Sendo, assim, considerado o maior reservatório de água do Distrito Federal.

O supracitado reservatório foi concluído em novembro de 1973 e sua função era alterar as perspectivas iniciais acerca do abastecimento de água, que *a priori* baseava-se somente no sistema do Torto e Santa Maria. A criação de Ceilândia e Guará, o rápido esgotamento dos pequenos mananciais e a contínua ocupação das sub-bacias dos tributários do reservatório nortearam a procura de mananciais que pudessem fornecer grandes vazões de água para atender ao desenvolvimento econômico e ao crescimento populacional. Sendo assim, atualmente, o Descoberto abastece 15 regiões administrativas, entre elas, Águas Claras, Brazlândia, Ceilândia, Gama, Guará, Núcleo Bandeirante, Park Way, Samambaia, Santa Maria, Taguatinga e Vicente Pires (GDF, 2017a).

Devido à importância hídrica da Bacia do Descoberto, na RA de Brazlândia estão inseridas as áreas de Proteção de Mananciais do Capão da Onça, Pedras, Barroco e Santa Maria, que também estão sujeitas aos zoneamentos da APA do Descoberto, da Cafuringa e do Planalto Central. Os cursos de água existentes na região compreendem o Rio Descoberto com seus respectivos afluentes: Córrego Capão da Onça, Bucanhão, Barroco e Veredinha; e o Ribeirão Rodeador e seus afluentes: Córrego Jatobá, Cabeceira Comprida, Guariroba e Cristal; os Córregos Olaria, Pulador, Chapadinha, Zé Pires e Cortado. Todos esses cursos d'água mostram a relevância hídrica da região. Sendo assim, Brazlândia situa-se em uma Zona de Uso Sustentável, que são áreas com matrizes de ocupação do solo com predominância de produção rural, mas que contém importância especial para a conservação dos solos e da água (GDF, 2017a).

Apesar da relevância da Bacia do Descoberto tanto para o abastecimento público do Distrito Federal, como em uma perspectiva ambiental, a ocorrência de vários problemas vem assolando a região. Um dos fatores preocupantes na região é a ocupação desordenada do solo, em que grilagens sistêmicas da terra contribuem com a degradação ambiental de microbacias

da região¹. Considerando a mesma fonte, outros problemas também notórios para a comunidade local é a descaracterização das nascentes e córregos, assoreamento dos cursos hídricos, poluição por agrotóxicos, ausência de programas de reciclagem e desmatamento intensivo da vegetação nativa.

Já o solo na região, normalmente, apresenta baixa fertilidade, mas em áreas cultivadas com frutas e hortaliças a fertilidade do solo pode ser considerada de média a alta. Essa característica subsidiou, em 1962, a implantação do Programa de Integrado de Colonização Alexandre de Gusmão – PICAG. Esse programa fica localizado na margem esquerda do lago Descoberto e próximo à nascente, na altura do córrego Capão da Onça. Embora a vocação inerente às potencialidades edafo-hídricas da bacia, a implementação do programa ainda levanta dúvidas sobre sua conformidade devido à falta de estudos apropriados de impacto ambiental e de monitoramento.

Já em relação à qualidade das águas previstas no Enquadramento distrital, segundo o Pré-Zoneamento Disponibilidade Hídrica (GDF, 2017a), o sinal de alerta acende face à insustentabilidade da manutenção e aumento dos usos do território nos padrões atuais, tanto em termos de expansão urbana quanto de atividade agropecuária presentes nas Bacias do Preto e Descoberto.

Outro problema que assola a região está associado à presença da empresa Proflora – Florestamento e Reflorestamento. De acordo com Costa (2011), em 8 de novembro de 1972, a Proflora foi criada e possuía como objetivo a execução de projetos para repor vegetações naturais, além da administração e da exploração de áreas florestadas e reflorestadas. Os ativos consistiam em sua maioria por maciços de pinos e eucaliptos, que eram vendidos a companhias de engenharia florestal. Sendo assim, a empresa PROFLORA recebeu uma área de 16.500ha, nos quais implantou 19 projetos de florestamento, sendo 58% com eucaliptos, 35% com pinheiros e 7% com mangueiras. Na época, as plantações de eucaliptos foram

¹ De acordo com relatos históricos fornecidos por um agricultor do assentamento em depoimentos registrados em uma visita de campo realizada no dia 12 de dezembro de 2018.

consolidadas na Bacia do Descoberto com a justificativa de armazenamento de água². Entretanto, a realidade era outra, as vastas plantações de eucalipto traziam grandes impasses ambientais relacionados às plantações de um monocultivo, além da redução do potencial hídrico da região causada pelas características específicas do eucalipto.

Como é possível notar, a região da Bacia do Descoberto apresenta diversas questões a serem tratadas, estudadas e avaliadas no que tange questões relacionadas aos recursos hídricos. No entanto, essas problemáticas não são recentes, há cerca de vinte anos, os principais problemas ambientais detectados na APA do Descoberto eram: a retirada da cobertura vegetal, problemas fundiários devidos às ocupações irregulares, uso do solo para produção agropecuária e hortifrutigranjeira com altos índices de perdas de água, exploração irregular de cascalheiras, lançamento inadequado de lixo (especialmente de origem agrícola), uso abusivo de agrotóxicos, captação de água irregular, prática inadequada de piscicultura, informações científicas insuficientes para subsidiar a gestão e educação ambiental na área, assoreamento dos ribeirões e do lago do Descoberto (Brasil, 2014).

Além das questões relacionadas à bacia, nos últimos anos, o Distrito Federal, vem apresentando vários relatos comuns decorrentes dos efeitos das mudanças climáticas e à degradação ambiental. Esses eventos, que também são encontrados na Bacia do Descoberto, são um desdobramento do desmatamento, das captações clandestinas de água, das ocupações irregulares que promovem a impermeabilização descontrolada do solo e do assoreamento de tanto de mananciais, como de nascentes (GDF, 2017a).

Outro fator notório foram os baixos índices pluviométricos que permaneceram abaixo da média esperada, gerando um fenômeno denominado de estiagem. A baixa precipitação acabou contribuindo para a diminuição dos níveis dos principais reservatórios, Descoberto e Santa Maria. O reservatório do Descoberto apresentou chuvas entre os períodos de Setembro a Dezembro de 2015 e 2016 de 368,80 mm e 412,40 mm, respectivamente. Estes volumes estão 42,5% e 35,7% abaixo da média histórica, que é de 641,40 mm para o período (GDF, 2017b).

² De acordo com relatos históricos fornecidos por um agricultor do assentamento em depoimentos registrados em uma visita de campo realizada no dia 12 de dezembro de 2018.

Como consequência, a baixa precipitação acabou contribuindo para a diminuição dos níveis dos principais reservatórios do Distrito Federal, Descoberto e Santa Maria.

Apesar da forçante climática, no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos (ANA, 2015), o Distrito Federal foi enquadrado entre as regiões que necessitavam de reforço na infraestrutura hídrica para garantir a oferta de água ou de fontes hídricas complementares. Esse enquadramento leva em consideração a baixa garantia hídrica de seus mananciais explorados em relação às demandas atuais e futuras. Esses vários fatores juntamente com a estiagem, levaram o Governo do DF a decretar situação de Emergência em janeiro de 2017. Esta medida foi tomada em decorrência principalmente do baixo volume de água presente no reservatório do Descoberto, que passou a operar abaixo de 20% de sua capacidade máxima (GDF, 2017b).

4.2 ASSENTAMENTO CANAÃ

O assentamento Canaã fica inserido no núcleo rural Chapadinha, localizado no Incra 6 na zona rural da Região Administrativa de Brazlândia e é delimitado pela rodovia DF 445 e pelo córrego do Rodeador (Figura 4.3). Inserido na sub-bacia Rio Descoberto e Ribeirão Rodeador, , no início do acampamento, um número significativo de 120 famílias de baixa renda do Movimento dos Trabalhadores Sem-Terra do Distrito Federal (MST – DF) ocuparam a atual região do assentamento no intuito de reivindicar a reforma agrária local (MST, 2014). O Canaã, originalmente com *status* de acampamento, foi criado a partir da necessidade da implementação de moradias populares rurais e agricultura familiar no Distrito Federal.

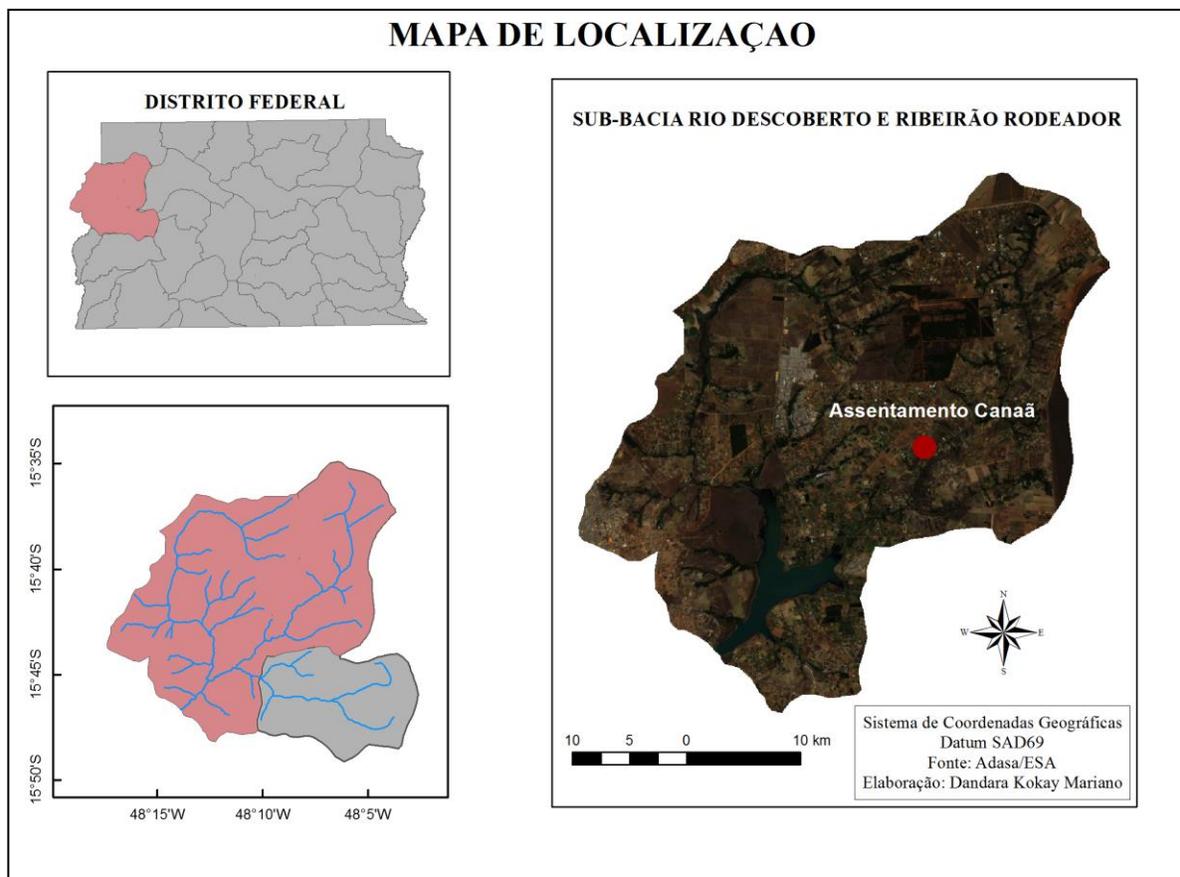


Figura 4.3 – Localização do Assentamento Canaã.

Segundo relatos de um dos agricultores na visita de campo realizada no dia 12 de dezembro de 2018, a proposta do acampamento Canaã teve como base a política de repensar o uso do espaço ocupado na perspectiva de produção de alimentos agroecológicos, recuperação do bioma cerrado e potencialização da região como unidade de produção sustentável. Nesse sentido, uma das exigências do acampamento era o corte e comercialização dos eucaliptos para a implementação do projeto assentamento Canaã. Essa reivindicação era fundamentada no fato da área ocupada pelas famílias ser uma das constituídas pelos grandes plantios de monocultura de pinus e eucalipto. Segundo um dos agricultores do Assentamento Canaã, além do impacto ambiental causado pelos pinus e eucaliptos e o potencial produtivo desperdiçado, uma série de irregularidades e corrupções colocava em xeque a reputação da empresa estatal responsável pelas plantações.

Apesar de todas as reivindicações dos agricultores em relação ao cultivos de pinus e eucaliptos, a questão do reflorestamento utilizando essas espécies sempre gerou certa controvérsia em relação à impactos gerados no meio ambiente. Entretanto, de acordo com Vital (2007), esses impactos são relativos e depende de alguns fatores, tais como:

- I. As condições prévias ao plantio;
- II. O regime hídrico da região;
- III. O bioma de inserção da atividade silvicultural;
- IV. As técnicas de manejo empregadas; e
- V. A integração da população local.

Segundo o Plano de Desenvolvimento Sustentável (MST, 2014), o local vinha sofrendo sucessivas queimadas criminosas nos períodos de seca, roubos de eucaliptos e desovas de carros roubados.

Após muitos anos de pressão por parte do movimento, a Terracap, empresa pública responsável pelo ordenamento dos terrenos do Governo do Distrito Federal, cedeu o terreno para o INCRA, que iniciou a formulação de um Projeto de Assentamento. Em julho de 2015, um mapa que marcava os limites das 67 parcelas para as famílias a serem contempladas foi proposto. Em dezembro, por meio de sorteio, as pessoas do movimento fizeram a distribuição das terras para as famílias e, em seguida, fizeram a mudança de suas casas para as parcelas do assentamento. Atualmente o Assentamento Canaã é composto por 67 parcelas de terras variando a área entre 1 ha e 5 ha e possui o foco direcionado no desenvolvimento de uma prática agroflorestal na região.

O primeiro contato com a comunidade ocorreu no dia 29 de agosto de 2019, no lançamento da CAS (*Community Supported Agriculture*) Paulo Freire. O conceito de CSA apresenta um modelo de um trabalho conjunto entre produtores de alimentos orgânicos e consumidores: um grupo fixo de consumidores se compromete por um ano (em geral) a cobrir o orçamento anual da produção agrícola. Em contrapartida os consumidores recebem os alimentos produzidos pelo sitio ou fazenda sem outros custos adicionais (CSA Brasil, 2019).

Após esse primeiro contato, foram realizadas visitas de campo na comunidade, sendo uma das principais, a realizada no dia 16 de janeiro de 2019, onde em uma reunião do mutirão local de agroecologia (projeto desenvolvido pela WWF no assentamento), foi deliberada a primeira sessão do jogo à ser realizada no dia 6 de fevereiro de 2019. Duas outras visitas foram realizadas no Assentamento no dia 12 de dezembro de 2018 e dia 8 de março de 2019.

4.3 PRIMEIRA FASE DO MODELO CONCEITUAL

Essa parte da metodologia pretende fornecer uma visão geral da estrutura do modelo e todos os conceitos presentes no mesmo. Levando em consideração alguns pontos comuns na implementação de um processo ComMod, o modelo conceitual desenvolvido nesta dissertação incorporou uma etapa de parametrização junto à comunidade de estudo. Sendo assim, o modelo conceitual foi desenvolvido em duas fases distintas, a primeira etapa resultou numa versão mais geral do sistema representado e a segunda etapa recebeu um ajuste a partir do que foi observado durante dinâmicas realizadas na comunidade para subsidiar a parametrização do comportamento dos atores bem como melhorar a representação do sistema físico local.

Após envolver as partes interessadas na escolha de elementos que estarão presentes na modelagem, tais como, variáveis, dados, suposições, cenários ou alternativas, tem-se a segunda fase do modelo, que apresenta um grau maior de representação das interações e tomadas de decisão e serve para mostrar a comunidade local o impacto que sua decisão pode gerar no recurso estudado, no caso dessa dissertação, a água.

Na primeira fase do modelo, considerou-se um ambiente fictício foi considerado, sendo ele caracterizado por uma grade de 50 x 50 plots. Nesse ambiente, dentre os usos e ocupações do solo, denominados no modelo de “*coverage*”, estão: urbano, agrícola irrigado, agrícola não-irrigado, agrofloresta, pousio, água e floresta, como representado na Figura 4.4. O modelo, além de considerar os usos e ocupações do solo e os elementos naturais presentes no mesmo, é composto por uma quantidade de 100 agentes (“*owner*”). Esses agentes são caracterizados por suas propriedades, ou seja, há 100 propriedades no modelo que pertencem a respectivamente

100 agentes. Como mostra a Figura 4.4, cada propriedade, conglomerado de plots, pode assumir um uso diferente do solo entre, agrícola irrigado, não-irrigado, agrofloresta ou pousio.

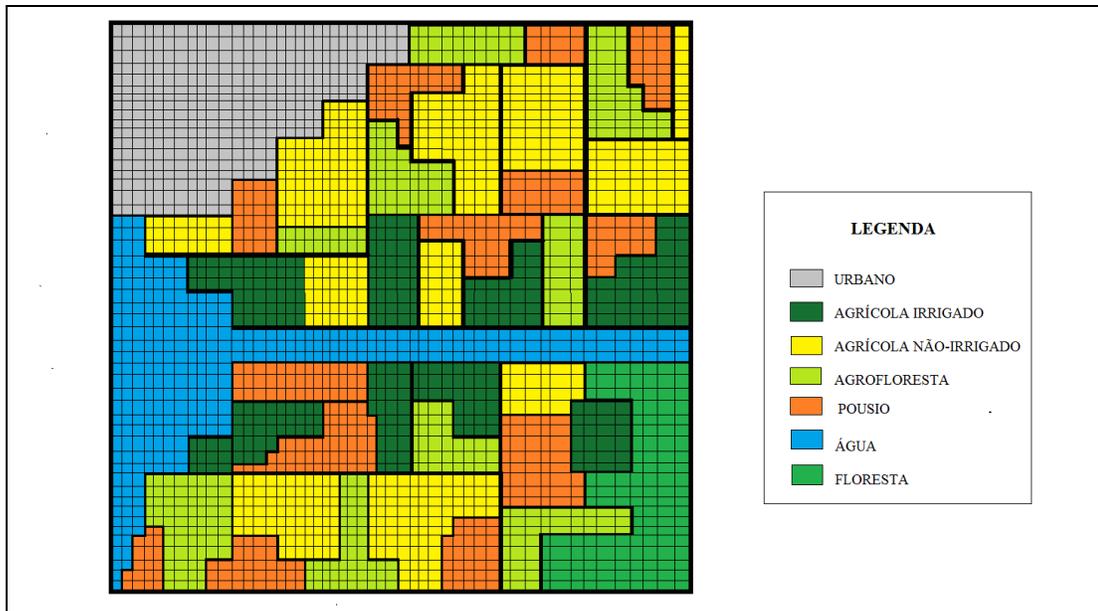


Figura 4.4 – Representação do ambiente presente no modelo.

Considerando os aspectos supracitados e para entender melhor o ambiente presente no modelo, um diagrama de classe (Figura 4.5) foi desenvolvido por meio da linguagem unificada de modelagem – UML (“*Unified Modeling Language*”). Esse tipo de linguagem define uma série de artefatos que podem ajudar na tarefa de modelar, programar e documentar sistemas orientados a objetos/agentes a serem desenvolvidos.

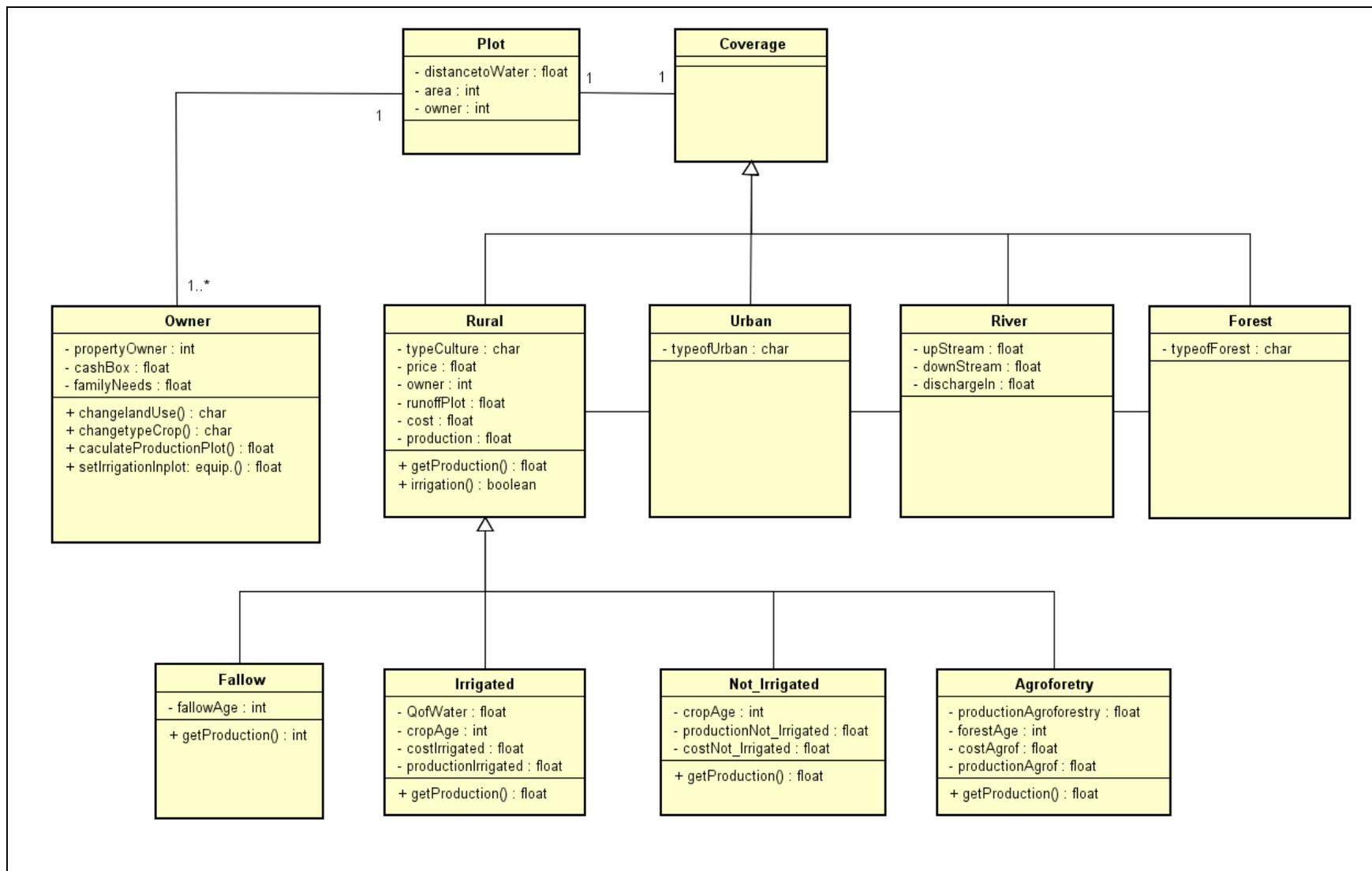


Figura 4.5 – Diagrama de classe do modelo de gestão de água desenvolvido no GAMA.

Segundo o UML (Figura 4.5), no modelo, alguns tipos de cobertura (“*coverage*”) do solo foram selecionadas, entre elas, como já mencionado, floresta (“*forest*”), rio (“*river*”), urbano (“*urban*”) e rural, onde há suas subclasses: irrigado (“*irrigated*”), não-irrigado (“*not_irrigated*”), agroflorestais (“*agroforestry*”) e pousio (“*fallow*”). Cada classe e subclasse do modelo possuem atributos e ações. Essas características e atitudes para o modelo conceitual proposto nessa dissertação também podem ser observadas no UML, como exemplo, pode-se citar a “*coverage*” do tipo rural, que apresenta como atributo:

- “*typeCulture*” (tipo de cultura);
- “*price*” (preço);
- “*owner*” (dono);
- “*runoffPlot*” (escoamento das parcelas);
- “*cost*” (custo); e
- “*production*” (produção).

Já suas ações são:

- “*getProduction*” (produzir); e
- “*irrigation*” (irrigar).

Os demais exemplos podem ser vistos na Figura 4.5.

Ainda de acordo com o UML, cada plot do modelo tem uma associação com a cobertura e deve apresentar pelo menos um tipo da mesma. As subclasses podem ser consideradas um conjunto de especificação da classe “*coverage*”, assim como, as subclasses de rural também podem ser consideradas uma especificação dessa categoria. A inicialização das subclasses foi realizada de duas formas no modelo, uma imutável (rio, floresta e urbano) por meio de um arquivo CSV e, outra mutável (rural) por meio da decisão dos agentes (“*owner*”).

Após a definição do ambiente, o processo de tomada de decisão dos agentes foi formulado. No modelo conceitual, foi considerado que os proprietários dos lotes, ou seja, os agentes do modelo são responsáveis pela administração de suas propriedades e decidem a cada passo anuais de tempo (“*step*”) que tipo de uso e ocupação do solo eles escolherão para suas propriedades. Os modos de uso da terra refletem as estratégias do proprietário. Sendo assim, quatro culturas podem ser escolhidas: culturas hortícolas que necessitam de irrigação

(“*irrigated*”), culturas de cereais (não irrigadas - “*not_irrigated*”), agroflorestais (“*agroforestry*”) e pousio (“*fallow*”).

Para realizar a tomada de decisão, os agentes foram condicionados a dois fatores, sendo o primeiro o quesito proximidade com a fonte de captação de água. Nessa condição, a irrigação só é possível nas proximidades do rio a uma distância máxima de dois quilômetros dos plots com cobertura do tipo “*river*”, as demais culturas podem ser realizadas independentemente da proximidade com a fonte de captação. A segunda condição está relacionada à quantidade de dinheiro presente no “caixa” do agente (“*cashBox*”). Ao inicializar o modelo, cada agente recebe uma quantia de dinheiro e apresenta gastos familiares (“*family_needs*”), ambos gerados de forma aleatória. Além desses dois fatores financeiros, em cada “*step*” há o custo de implementação de cada cultura e os ganhos que ela pode gerar ao final de cada ano. Todos os valores utilizados nessa primeira versão do modelo podem ser observados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores monetários iniciais, gastos familiares, custo de produção e ganhos da produção considerados na primeira fase do modelo.

CashBox inicial*		500,0 a 2000,0
Gastos Familiares*		100,0 a 500,0
Custo de Produção	Irrigado	1000,0
	Não irrigado	500,0
	Agrofloresta	100,0
Ganhos da Produção*	Irrigado	1000,0 a 3000,0
	Não irrigado	500,0 a 1000,0
	Agrofloresta	500,0 a 1000,0

*Valores Randômicos

As culturas hortícolas exigem maiores investimentos no início da temporada do que as culturas de "cereais", mas quando colhidas fornecem uma renda melhor. O pousio, que não fornece renda, é selecionado quando o “*cashBox*” é tão baixo que não permitia qualquer outra atividade agrícola na parcela. Já o sistema agroflorestal, na primeira versão, foi considerado no

modelo como um cultivo de baixo custo, ou seja, um intermediário entre o “cereal” e o pousio. Levando em consideração características financeiras do agente e de cada cultura, o modo de uso da terra rural pode mudar a cada ano, dependendo do “*cashBox*” do proprietário no início da temporada. Todas essas condições determinam a escolha da cultura pelo agente e podem ser resumidas pela Figura 4.6, que representa o diagrama de atividades dos agricultores.

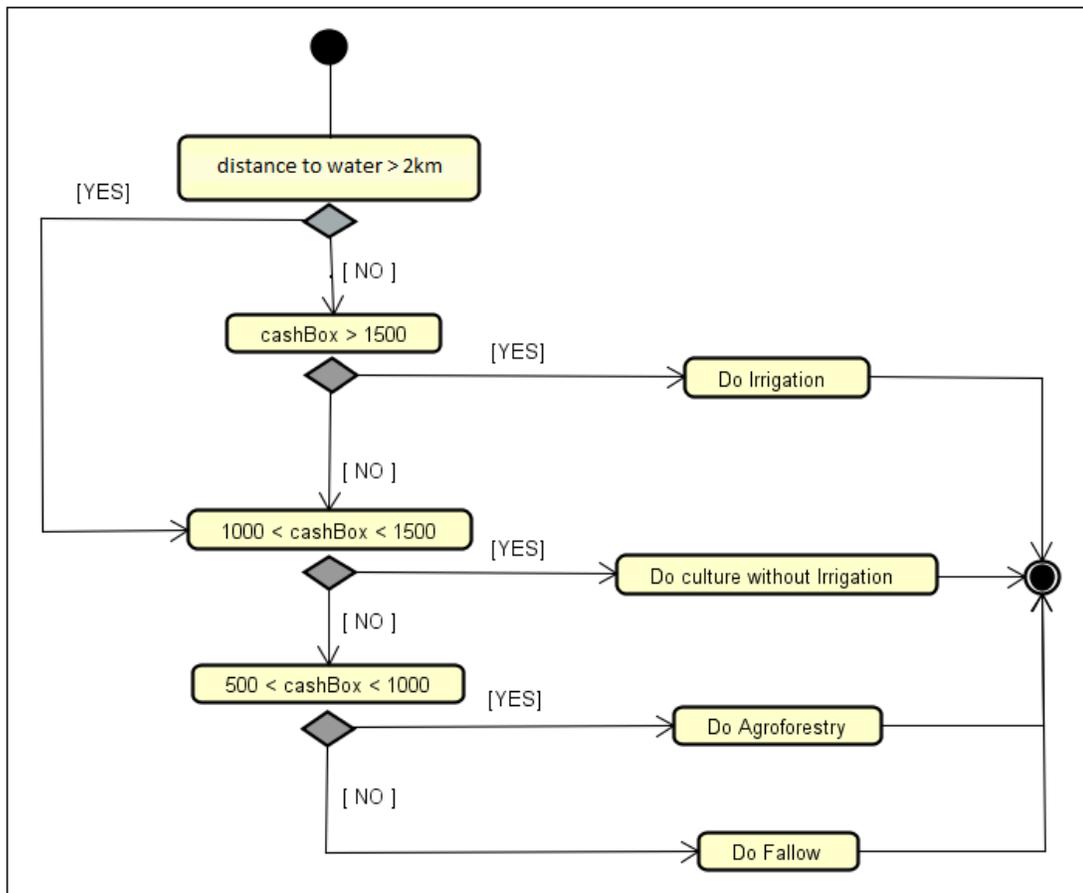


Figura 4.6 – Diagrama de atividades do agente agricultor.

Em suma e como mostra o diagrama de atividade (Figura 4.6), nesse modelo, a dinâmica de uso e ocupação do solo apresenta a força motriz baseada em regras de tomada de decisões dos agentes, que tem relação com a proximidade com o rio (facilidade de acesso à água), com o dinheiro presente na caixa. Além das tomadas de decisão, o modelo conta com um balanço hídrico simplificado do sistema. Esse mini-modelo hidrológico é composto por um balanço de massa presente na espécie “*river*”, no qual é considerada a vazão do rio, o escoamento da água

proveniente das áreas rurais e uso de água para irrigação. Na Equação 1 é possível observar como esse balanço de massa é descrito no modelo.

$$flow_river <- flow_river + precipitation + runoff - water_needed_for_irrigation \text{ (Eq. 1)}$$

Para calcular o volume de água retirado do rio que será utilizado na irrigação (“*water_needed_for_irrigation*”) por cada proprietário, foram consideradas duas variáveis, uma referente à área irrigada das propriedades que possuem irrigação e outra associada a um coeficiente de irrigação. O valor do coeficiente de irrigação foi baseado em dados obtidos pelo Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA (2008), o qual afirma que a quantidade genérica de água necessária para irrigar um hectare de plantação por dia, sem considerar o tipo de cultura, solo, clima e eficiência do sistema de irrigação, pode ser considerada como uma lâmina de 8 mm de água por dia, ou seja, 80 m³ de água por hectare-dia. Sendo assim, multiplicando o valor do coeficiente de irrigação pela área irrigada, obtêm-se a quantidade de água a ser retirada do rio.

Outra variável presente na Equação 1 é a precipitação (“*precipitation*”). Para calcular esse parâmetro, dados de monitoramento hidrológicos foram obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos no sítio Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA (2019). Os dados são referentes a uma estação de monitoramento presente próxima ao exutório da Barragem do Descoberto identificada pelo código de nº 1548008. Ela é operada pela CAESB e do tipo pluviométrica. Os dados foram trabalhados e uma média máxima e mínima, 500,5 e 161,8 mm, foram consideradas, sendo esses os limites superiores e inferiores, respectivamente, para uma escolha aleatória da precipitação em cada “*step*” de tempo do modelo.

Outra variável do balanço hídrico é a vazão presente no rio (“*flow_river*”), ela é atualizada a cada passo de tempo e seu valor inicial foi considerado de 1 m³/s. Já a variável de escoamento (“*runoff*”) é calculada de acordo com a precipitação e a irrigação, ou seja, para calcular o escoamento superficial, um coeficiente de escoamento foi considerado, ele define que 5% da água utilizada na irrigação somada à água precipitada escoam para o rio.

Após a criação do modelo conceitual, um jogo de representação de papéis foi aplicado na comunidade em estudo no intuito de avaliar se essa metodologia poderia ser utilizada como uma ferramenta de avaliação da tomada de decisão e na parametrização do respectivo modelo. Sendo assim, o próximo subtópico será destinado à descrição minuciosa da metodologia do jogo utilizado.

4.4 JOGO DE REPRESENTAÇÃO DE PAPÉIS: WADIGA

Um jogo de papéis foi selecionado e utilizado para facilitar a formulação de potenciais intervenções e concepções de estratégias. Os principais objetivos dos jogos de representação de papéis são: (i) compreender as percepções, comportamentos, interações e dinâmicas da comunidade local, (ii) facilitar a troca de pontos de vista, conhecimentos e experiências, (iii) iniciar o aprendizado coletivo, e (iv) conceber aos modelos de simulação e às estratégias projetadas uma confiança maior (Eden e Ackermann, 2013). Sendo assim, a fim de facilitar a formulação das potenciais intervenções e potenciais concepções de estratégias presentes na região do Assentamento Canaã, um jogo específico de representações de papéis voltado à gestão de recursos hídricos em sub-bacias foi selecionado, o WaDiGa. Para realizar o referido jogo, foram selecionadas como principais protagonistas famílias assentadas, as quais devido às suas características podem ser incluídas na gestão de recursos hídricos como a categoria de organizações e grupos de base.

O WaDiGa foi selecionado devido ao seu caráter genérico e por simular as interações entre as modalidades de gestão coletiva da água e uma transição agrícola de sistemas de cultivos anuais, pouco integrados ao mercado, para sistemas hortícolas perenes e comerciais em regiões de pequena escala. Em decorrência do seu atributo genérico, esse jogo pode ser utilizado em uma ampla gama de situações geográficas, permitindo a comparação entre os resultados obtidos em diferentes sessões registradas. Vale ressaltar que o WaDiGa não recria uma situação real dada, mas oferece aos jogadores uma plataforma de comunicação, coordenação e negociação útil para examinar coletivamente as questões ligadas à gestão coletiva de água e à transformação de sistemas de cultura e de produção.

Nessa dissertação foram utilizadas duas sessões do jogo WaDiGa, uma com o seu formato original (Trébuil *et al.*, 2017) e outra baseada na versão original apresentando uma adaptação para a realidade local do Assentamento Canaã, como mostram as fotos presentes no Anexo I e Anexo II, respectivamente. Considerando as duas versões, os próximos subtópicos serão destinados a descrever o funcionamento do jogo e suas regras, sendo as informações base referentes à metodologia descrita em Trébuil *et al.* (2017).

4.3.1 Primeira sessão do jogo WaDiGa

4.3.1.1 Descrição dos componentes do jogo

Para caracterizar o ambiente do jogo, um tabuleiro de tamanho médio (64x87 cm) foi criado e nele foram representados esquematicamente um pequeno vale íngreme no qual ao centro escoava um rio. Além disso, o tabuleiro apresentava 32 parcelas cultiváveis de mesmo tamanho (10x12cm) contendo cada uma 0,5 ha. Cada parcela de terra era delimitada por uma marcação feita de palito de picolé, sendo 16 parcelas alocadas em duas faixas de 8 áreas ocupando ambas as margens do rio, como mostra a Figura 4.7. Cada parcela poderia ser ocupada por três culturas à escolha do jogador: roça de milho ou mandioca (culturas alimentares), Sistemas Agroflorestais (SAF) e culturas irrigáveis (comerciais perenes).

No intuito de identificar os jogadores, bandeirinhas coloridas numeradas (1 a 12) foram fixadas ao centro da propriedade indicando o agricultor que cultivava a respectiva parcela. O número de cada jogador, tirado na sorte, dava origem a uma quantidade variável de parcelas a serem geridas. Foram utilizados diferentes símbolos 3D para representar cada tipo de cultura e facilitar a imersão dos participantes na sessão do jogo. A Figura 4.7 mostra a configuração do tabuleiro e os elementos que foram utilizados na primeira partida do jogo.



Figura 4.7 - Tabuleiro e elementos do jogo utilizados.

Os volumes de água manipulados pelos jogadores para irrigar suas respectivas culturas eram representados por bolinhas de gude transparentes. Em cada rodada do jogo, a quantidade de água total disponível foi disposta em recipientes transparentes de vidro com o objetivo de tornar as bolinhas de gude visíveis para os jogadores, como mostra a Figura 4.8. Já na questão monetária, as cédulas utilizadas pertencem a um jogo de sociedade, pois assim, a manipulação de notas fictícias traz a perspectiva real de dinheiro (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Recipiente transparente contendo as bolas de gude e o dinheiro utilizados.

4.3.1.2 Regras aplicadas

O jogo possibilita três tipos de culturas distintas e cada jogador representava um agricultor que pode cultivar 2, 3 ou 4 parcelas. A fim de simular a diferença socioeconômica existente entre as propriedades agrícolas, os jogadores receberam montantes diferentes de dinheiro no início da sessão do jogo. O valor recebido por cada agricultor foi de 20 unidades monetárias por parcela cultivada a ser gerida. Durante uma rodada do jogo, cada agricultor teve que efetuar as seguintes ações:

1. Dividir suas culturas atribuindo uma dada produção (roça de milho ou mandioca, Sistemas Agroflorestais e culturas irrigáveis) a cada uma de suas parcelas;
2. Fixar o volume de água que iria utilizar para irrigar sua cultura; e
3. Pegar ou não um empréstimo no banco para investir em uma nova plantação.

Em relação à pluviometria e água agrícola disponível, a quantidade de água que os jogadores podiam compartilhar durante uma rodada dependia do tipo de ano climático e do número de parcelas cultivadas. Para evitar que os jogadores conhecessem exatamente o volume total de água disponível para o ano climático dado, certa variação desse volume foi considerada e a quantidade colocada no pote de vidro foi selecionada aleatoriamente nos intervalos de valores indicados na Tabela 4.2. Para satisfazer a colheita, eram necessárias 3 unidades (bolinhas de gude) por parcela cultivada para as plantações do tipo SAF e irrigável e apenas 1 unidade para roça de milho ou mandioca. A escolha do tipo de cultivo e suas respectivas demandas hídricas foram adaptadas, baseado tanto na visita de campo anterior quanto numa primeira conversa no dia do jogo.

Tabela 4.2 – Perfil do ano climático e respectivos volumes de água agrícola disponível.

PLUVIOMETRIA	VOLUME POR PARCELA CULTIVADA	VARIAÇÃO	VOLUME MÁXIMO
Úmido	2	± 6	58 - 70
Normal	1	± 4	28 - 36
Seco	0,75	± 2	22 - 26

Cada jogador decide qual cultura ele irá implementar em sua parcela. Sendo assim, no começo de cada rodada os participantes vão ao banco obter ou comprar suas culturas e pagar imediatamente o custo de produção solicitado, que era:

- 40 e 60 unidades monetárias por parcela de SAF e cultura irrigável, respectivamente;
- 0 unidades pela roça de milho ou mandioca.

Nenhuma manutenção da cultura era realizada e seu nível de produção dependia apenas da irrigação que era feita todos os anos para satisfazer ou não as necessidades do plantio. O produto bruto das diferentes culturas dependia de cada tipo. Desde que as necessidades por água tivessem sido satisfeitas, o valor era de 40 unidades monetário para o SAF e o Maracujá/Morango e de 10 unidades para a roça de Milho/Mandioca. Caso a necessidade por água não fosse atendida, os valores monetários eram inferiores, como mostra a Tabela 4.3. O excesso de irrigação não apresentava efeito algum sobre o produto bruto da parcela.

Tabela 4.3 – Unidades monetárias geradas por tipo de cultura e quantidade de água aplicada.

UNIDADE DE ÁGUA	MARACUJÁ/MORANGO	SISTEMAS AGROFLORESTAIS	ROÇA DE MILHO/MANDIOCA
0	-10	0	5
1	0	5	10
2	15	20	10
>2	40	30	10

No final de cada rodada, os jogadores receberam uma quantia de dinheiro referente aos seguintes fatores:

- número de parcelas cultivadas;
- culturas selecionadas;
- volume de água utilizado na irrigação de suas culturas (satisfazendo ou não as necessidades hídricas da cultura); e
- preço de mercado do ano (alto, médio ou baixo).

Sendo assim, cada jogador ao final de cada rodada avaliava seus meios de produção, número de parcelas, superfície plantada, dinheiro disponível e, eventualmente, atualizava ou não sua estratégia na rodada seguinte. Entretanto, dependendo da dinâmica coletiva que surgir durante o jogo, outros indicadores de monitoramento podem ser escolhidos pelos participantes, tais como a avaliação do uso da água.

Visando ao bom funcionamento do jogo e à facilitação adequada para cada sessão, foram designados alguns papéis de facilitação, cujas respectivas funções são descritas no Quadro 4.1. Sendo assim, a primeira sessão do jogo contou com quatro pessoas na parte da facilitação: uma facilitadora, uma banqueira que também exercia papel de registradora juntamente com outra registradora e uma observadora. Todas as envolvidas na facilitação também faziam o registro visual da partida. A sessão do jogo foi realizada em uma área do assentamento denominada de plenária.

Quadro 4.1 – Designação, função e quantidade de pessoas que facilitaram a sessão do jogo.

DESIGNAÇÃO	FUNÇÃO	QUANTIDADE
Facilitador	Presidi a sessão, explica as regras, efetua os anúncios, gere o tempo e o ambiente lúdico. Pode ajudar os jogadores, recordando regras ou fornecendo informações, se solicitado.	Um
Banqueiro	Distribuir e coletar o dinheiro, fornecer os empréstimos.	Um
Registrador de dados	Registrar as decisões dos jogadores, calcular suas rendas.	Dois
Observador	Registrar as mudanças e o comportamento dos jogadores.	Um
Registrador do jogo	Fotografar ou registrar o jogo em vídeo.	Quatro

Para manter a boa organização do jogo, um arranjo espacial foi designado. A Figura 4.9 pode exemplificar a divisão realizada das áreas. A parte denominada comunidade é o espaço onde os jogadores interagiram livremente para comentar sobre o curso do jogo e, eventualmente, concordar sobre a orientação de suas ações durante a próxima rodada. Já o computador representa o local onde ficavam localizadas as registradoras de dados. Elas registravam em uma planilha Excel as decisões dos jogadores, tais como, rotação da cultura, quantidade irrigada, entre outras. No espaço denominado informações constava um mural onde ficavam fixados cartazes com informações sobre as culturas, o nível de precipitação da rodada e a variação do mercado.

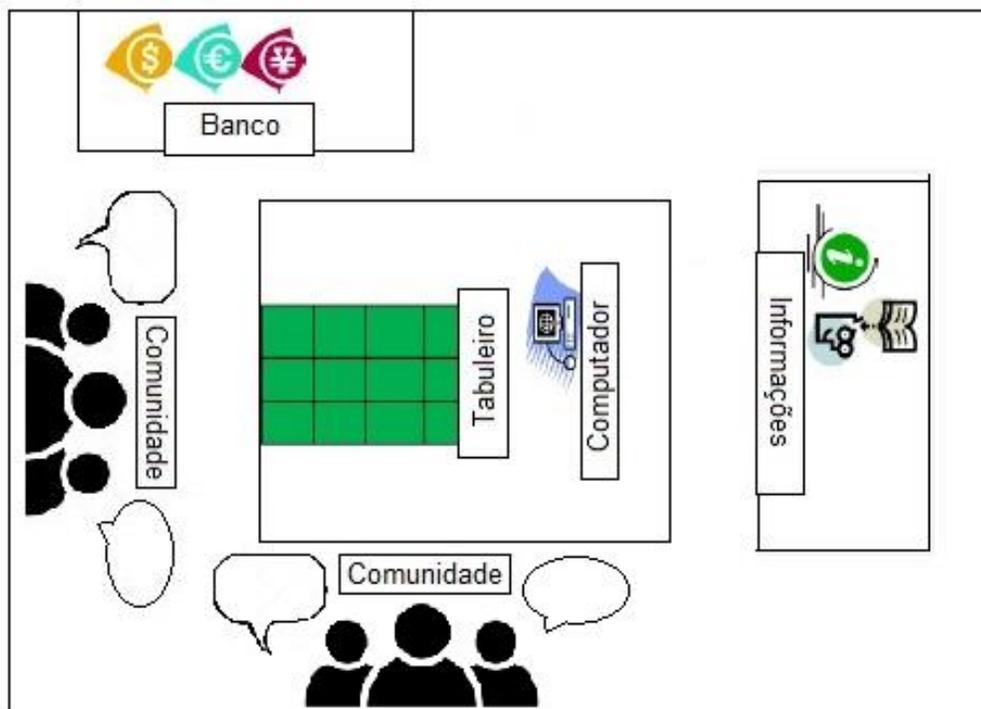


Figura 4.9 – Representação espacial dos locais presentes na sessão do jogo (Fonte: Trébuil *et al.*, 2017 adaptado).

4.3.1.3 Etapas sucessivas realizadas

No início da sessão do jogo, cada jogador tirou um número de 1 a 11, sendo o número 11 correspondente ao número de participantes. O número retirado determinava a data de chegada do agricultor e sua família na região, bem como a sua ordem no jogo no começo de cada

rodada. Os jogadores 1 e 2 receberam 4 parcelas e 80 unidades monetárias, os jogadores de 3 a 6 receberam 3 parcelas e 60 unidades monetárias, já os jogadores de 7 a 11 receberam 2 parcelas e 40 unidades monetárias. Em seguida, decidiam sobre a localização de suas respectivas parcelas no tabuleiro de acordo com a ordem de seus números e consultaram um painel público, localizado na parte denominada “informações” (Figura 4.9), o qual fornecia subsídio na forma de cartazes e gráficos em relação a:

- i. Necessidades hídricas das culturas;
- ii. Efeitos da falta de água na produtividade;
- iii. Desempenho econômico das culturas; e
- iv. Custo de implantação das culturas.

As etapas sucessivas de uma rodada do jogo foram as seguintes:

1. Escolha de uma rotação de culturas em cada propriedade

Os jogadores distribuíram uma cultura a cada uma de suas parcelas e pagaram ao banco o preço dos insumos correspondentes à rotação escolhida antes de colocar suas culturas no tabuleiro. O banco ofereceu um empréstimo, reembolsável ao final do ano, a uma taxa de 10% ao ano. Essas rotações puderam ser visualizadas no tabuleiro e registradas no Excel.

2. Anúncio da pluviometria

O facilitador anunciava a pluviometria do ano de acordo com 3 opções (seco, médio ou úmido). Essas opções eram selecionadas de forma aleatória por meio de sorteio, o qual os próprios jogadores sorteavam. Os volumes de água disponíveis correspondentes eram materializados por certo número (não revelado) de bolinhas de gude e colocados sobre um vidro transparente no topo da bacia hidrográfica. O número exato de bolinhas conforme o perfil pluviométrico não foi fornecido para evitar sua influência sobre a discussão entre os jogadores.

3. Divisão da água disponível

Os jogadores tiveram alguns minutos para discutir como iriam dividir a água disponível. De acordo com a ordem de posicionamento das parcelas, cada jogador foi chamado individualmente, começando pelos presentes a montante da bacia e adjacentes ao rio, sucedidos pelos mais distantes e, portanto, que possuíam menos acesso à água. Cada jogador, em sua vez, pegou no pote de vidro o número de unidade de água que gostaria de colocar em cada uma de suas parcelas. Essa ação era pública e os outros jogadores observavam. A operação foi repetida até o esgotamento da água presente no pote de vidro.

4. Anúncio do nível do preço das culturas comerciais

O nível dos preços de mercado era sorteado conforme 3 opções (alto, médio, baixo). Os preços das culturas de subsistência (arroz e milho) não variavam, já o preço unitário do SAF aumentava ou abaixava 33%, e o da cultura irrigada 67%, dependendo se o ano era bom ou ruim.

5. Registros

As registradoras colocavam no Excel as decisões tomadas e calculavam a renda dos jogadores em função da cultura praticada, do nível dos preços de mercado (anunciado e sorteado pelo facilitador), da pluviometria anual e dos abastecimentos de água realizados pelos jogadores em suas parcelas. O crédito informal entre os jogadores era possível e não é registrado, nem no banco, nem no Excel. No final, cada jogador passava no banco para retirar sua renda. Fim da estação agrícola.

6. Reunião Comunitária

Esse momento era destinado aos jogadores trocarem no espaço “comunidade” (Figura 4.9) os eventos da última safra e formularem uma estratégia coletiva para o ano seguinte. Se demandado, informações suplementares podiam ser fornecidas aos jogadores pelo facilitador,

tais como, sobre a flutuação do preço, os projetos de desenvolvimento hídrico, as opções técnicas possíveis, entre outras.

4.3.2 Segunda sessão do jogo WaDiGa

A segunda sessão do jogo tinha como objetivo trazer uma abordagem semelhante à realidade do assentamento, assim seria possível explorar mais a tomada de decisão da comunidade local e facilitar a gestão colaborativa. Para obter mais informações sobre o assentamento que pudesse complementar o jogo, uma visita ao local foi realizada. Sendo assim, a alteração do jogo Wadiga presente nessa sessão foi baseada no contato com a comunidade juntamente com as análises dos comportamentos feitas a partir da aplicação da primeira dinâmica.

Dessa forma, pôde-se concluir que parte do assentamento não possui histórico de vida no campo, ou seja, somente após a posse das terras começaram a desenvolver práticas de plantio. Devido a esse fator, foi encontrada a dificuldade de estabelecer custos e rendas anuais para diferentes tipos de culturas. Já os sistemas agroflorestais começaram a ser implementados em algumas propriedades por meio de um projeto de mutirão. Essa recente prática ainda está em fase de aprimoramento e não possui dados relativos aos seus custos e ganhos. Desta forma, a falta de informação sobre o produto bruto levou os valores de investimento e os lucros a serem os mesmos considerados na primeira sessão do jogo.

Outra abordagem também presente nessa fase do jogo está relacionada a questões ligadas aos meios de captação da água, no caso do assentamento, poços. A captação de água no assentamento é predominantemente feita por meio de poços, sejam eles profundos ou rasos. Desse modo, a água subterrânea apresenta um papel fundamental na produção agrícola local. Apesar do assentamento estar localizado em uma região onde está uma das principais fontes de abastecimento público do Distrito Federal, a água ainda é um fator limitante na região. As propriedades do assentamento que estão localizadas em cotas mais elevadas possuem dificuldade de acesso à água. Já propriedades em cotas mais baixas apresentam acesso relativamente fácil. O custo de implementação dos poços foi estabelecido de acordo com os valores obtidos na conversa com a população local, sendo ele de 200 reais por metro escavado.

Nas áreas com cotas mais elevadas, para encontrar uma profundidade que possua água, um poço pode chegar a mais 20 metros. Nas cotas mais baixas, poços contendo 9 metros de profundidade podem apresentar água suficiente para a produção de uma propriedade. Levando em consideração as informações coletadas, a segunda sessão do jogo será descrita a seguir.

4.3.2.1 Descrição dos componentes do jogo

Os componentes do jogo foram semelhantes aos presentes na primeira sessão. Para caracterizar o ambiente, o mesmo tabuleiro foi utilizado. Entretanto, o rio que escoava ao centro do tabuleiro, nessa sessão, dá forma a 4 poços coletivos esquematicamente representados por potes de plástico transparentes localizados ao centro do tabuleiro. Além disso, poços individuais também podem ser implementados em cada propriedade, os quais são representados por cilindros de papelão marrons com 5 cm de altura. Uma declividade também é considerada no tabuleiro para identificar as áreas de cotas mais elevadas e de cotas mais baixas. O dimensionamento das 32 parcelas cultiváveis continuou o mesmo com um tamanho de 10x12cm e contendo no jogo cada uma 0,5 ha. 16 parcelas foram alocadas em duas faixas de 8 propriedades. Todos os elementos presentes nessa sessão do jogo e supracitados podem ser visualizados na Figura 4.10. Cada parcela também continuará podendo ser ocupada por três culturas a escolha do jogador: roça de Milho/Mandioca (culturas alimentares), Sistemas Agroflorestais (SAF) e Maracujá/Morango (culturas irrigáveis comerciais perenes).

4.3.1.2 Regras aplicadas à segunda versão do jogo

A segunda versão apresenta a mesma quantidade de distribuição de parcelas referente ao número do jogador e o mesmo montante diferenciado de 20 unidades monetárias por parcela cultivada. Durante uma rodada da segunda versão do jogo, cada agricultor teve que efetuar as seguintes ações:

1. Dividir suas culturas atribuindo uma dada produção (roça de Milho/Mandioca, Sistemas Agroflorestais e Maracujá/Morango) a cada uma de suas parcelas;
2. Construir ou não um poço em sua propriedade.

3. Fixar o volume de água que iria utilizar para irrigar sua cultura; e
4. Pegar ou não um empréstimo no banco para investir em uma nova plantação ou na construção de poços.



Figura 4.10 – Configuração do tabuleiro no decorrer da segunda sessão do jogo.

Nessa versão do jogo a água presente nos poços tem relação com a pluviometria. É sabido que os processos hidrogeodinâmicos de recarga dos lençóis freáticos apresentam uma maior complexidade do que a simples relação nível do lençol e precipitação. Entretanto, no cotidiano, a falta de água está sempre representada no imaginário do usuário como uma consequência da baixa precipitação, por esse motivo a referida simples relação foi considerada. A quantidade de água que os jogadores podiam compartilhar durante uma rodada dependia do tipo de ano climático. O compartilhamento da água dos poços coletivos era feito por meio de um rodízio, onde cada propriedade apresentava um número ímpar ou par. No começo da sessão do jogo, foi sorteado qual desses números teria a preferência de retirada de água, os números ímpares ou pares, e no segundo ano a ordem foi invertida. O rodízio seguiu essa alternância até o final do jogo.

O volume total de água disponível para cada poço coletivo no ano climático dado apresenta os valores mostrados na Tabela 4.4. Essa quantidade de água foi colocada nos recipientes de papelão que representavam os poços. Para satisfazer a colheita, eram necessárias 3 unidades (bolinhas de gude) por parcela cultivada para as plantações do tipo SAF e Maracujá/Morango e apenas 1 unidade para roça de milho ou mandioca.

Tabela 4.4 – Perfil do ano climático e respectivos volumes de água agrícola disponíveis nos poços coletivos.

PLUVIOMETRIA	VOLUME POR PARCELA CULTIVADA	VOLUME MÁXIMO
Úmido	2,5	20
Normal	2	16
Seco	1	8

Em relação aos poços individuais, o tabuleiro foi dividido em quatro partes, ou seja, quatro faixas contendo duas linhas de propriedade. Na primeira parte mais a montante do tabuleiro, o custo de implementação do poço foi maior, pois a profundidade para alcançar a água era de 20 metros devido à cota elevada. Já na segunda parte da divisão do tabuleiro, o custo foi relativo à 15 metros de profundidade, na terceira parte 10 metros e na quarta parte 5 metros. Os custos de implementação, 2 unidades monetárias por metro de profundidade, e a quantidade de água fornecida pelos poços individuais podem ser visualizados na Tabela 4.5. A quantidade de água também varia de acordo com o ano climático, sendo mais afetada do que os poços coletivos.

Tabela 4.5 – Posição dos poços individuais no tabuleiro, seus custos de implementação e a quantidade de água fornecida em função do ano climático.

POSIÇÃO DO POÇO	CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO	VOLUME DE ÁGUA		
		ANO SECO	ANO NORMAL	ANO ÚMIDO
1	40			
2	30			
3	20	0	1	2
4	10			

Após essas modificações nas regras do jogo em relação à captação de água, os passos seguintes seguiram o mesmo processo apresentado na primeira versão. Os valores de custos e lucros para cada cultura foram os mesmos e a quantidade de água demanda por elas não foi alterada.

4.5 SEGUNDA FASE DO MODELO CONCEITUAL

O jogo de representação de papéis, WaDiGa, proporcionou uma maior aproximação com a comunidade local e a obtenção de algumas informações que foram utilizadas como uma forma de complementação de informações para o modelo. A primeira delas está relacionada à questão da especulação imobiliária na região. Um jogador ao citar que propriedades onde o lucro é baixo e a falta de água é recorrente tendem a virar condomínios, sendo assim, uma primeira modificação no modelo foi feita. As áreas que na primeira versão do modelo eram consideradas pousios passaram a ser consideradas como loteamentos.

Outra modificação realizada foi à introdução de tipos de específicos de culturas no modelo, que antes eram definidas como irrigáveis e não irrigáveis, agora são, respectivamente, maracujá e milho. A escolha do tipo de cultura se deu pela interação com os jogadores, tanto no jogo como em momentos prévios, onde frequentemente eram comentadas as principais produções agrícolas na região. O milho por necessitar de uma baixa quantidade de água é uma produção frequente no assentamento, assim como a mandioca. O maracujá também é muito comum, existindo plantações de diferentes espécies. Já o morango devido à tradição presente na região é uma fruta muito visada. Apesar da demanda por água e agrotóxico, algumas produções de morangos orgânicos já existem no assentamento.

Para uma maior aproximação com a realidade local e como referência para a segunda versão do modelo, valores associados aos cultivos de maracujá para as culturas irrigadas e de milho orgânico para as culturas não-irrigadas foram utilizados. Os custo de implementação e manutenção do maracujá foram, assim como, os custo do milho orgânico, obtidos por meio da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal – Emater (2019). A Emater coletou os dados utilizados junto aos produtores rurais em sistemas de produção em

uso no Distrito Federal. Os preços presentes nos custos de produção são os praticados pelas principais empresas de insumos agropecuários do DF.

Os dados coletados são valores referenciais e podem servir como base para cálculos de elaboração de orçamentos detalhados para projetos técnicos, considerando as especificidades de cada unidade produtiva. Além dos valores do custo de implementação e manutenção, o documento também apresenta a produtividade média de cada cultura por hectare e a partir dela foi possível calcular o valor médio ganho por ano para cada cultivo.

Sendo assim, segundo a Emater (2019), o custo de implementação e manutenção do maracujá é de R\$ 37.675,76/ha.ano, considerando o plantio com as seguintes características: espaçamento entre linhas de 2,5 metros e 2,0 metros; 2000 plantas por hectare; gasto de mudas com um adicional de 10% para o replantio; espaçamento entre esticadores de 20 metros e entre estacas de 5 metros; instalação de um fio de arame na ponta das madeiras; e desconsiderou-se o uso de agrotóxicos para o controle de outras pragas importantes como a mosca da fruta e a bacteriose devido à falta de registro desses produtos.

Os ganhos anuais para o maracujá foram calculados baseados na sua produtividade, que segundo a Emater (2019), para as características mencionadas é de 20 mil quilogramas por hectare. A venda do maracujá é realizada a um valor de R\$ 4,50 por quilograma nas Centrais de Abastecimento do Distrito Federal – Ceasa (GDF, 2019). Sendo assim, o ganho anual com a produção de maracujá é de R\$67.500/ha.

Já o custo anual de implementação e produção do milho orgânico considerado no modelo foi de R\$ 5.043,14/ha (Emater, 2019). Os ganhos anuais também foram calculados com base na produtividade anual desse tipo de cultura que é de 45 mil unidades de milho por hectare. Considerando que cada unidade de espiga de milho apresenta 300 gramas e que o valor na Ceasa-DF para cada quilograma de milho é de R\$ 2,50 (GDF, 2019), o valor total de ganhos anuais considerado na segunda versão do modelo foi de R\$ 33.750/ha.

O terceiro tipo de cultura a ser considerada na segunda fase do modelo são os sistemas agroflorestais – SAF, também presentes na primeira versão do modelo. Os custos de implementação e manutenção desse tipo de plantação foram escolhidos por meio de dados apresentados por Moura *et al.* (2009), onde o custo anual é de R\$ 7.580,72/ha para sistemas agroflorestais do tipo manual, o qual se assemelha mais ao tipo utilizado no assentamento. Para os ganhos anuais, pode-se considerar o valor de R\$ 47.274,00/ha. O valor dos ganhos anuais para SAF foram obtidos por meio do trabalho realizado por Hoffmann (2005), no qual apresenta a produção de Sistema Agroflorestal Sucessional Manual no Sítio Felicidade, localizado no Distrito Federal. Todos os valores supracitados podem ser visto de forma resumida na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Valores de custos e ganhos das três culturas presentes na segunda versão do modelo.

	Maracujá	Milho	SAF
Custo de Operação (R\$/ha.ano)	37.675,00	15.311,00	7.580,00
Ganhos anuais (R\$/ha.ano)	67.500,00	33.750,00	47.274,0

Nessa versão os SAFs apresentam uma posição mais relevante em relação à primeira versão. Ao perceber por meio das duas sessões do jogo que as famílias do assentamento priorizam a implementação de SAFs, um novo diagrama de atividades foi realizado e nele esse tipo de cultivo apresenta prioridade em relação ao cultivo de milho, além disso, um maior intervalo monetário o qual define a condição de escolha das culturas foi definido, como mostra a Figura 4.11. Já em relação à questão hídrica, para ficar mais similar à realidade local, o rio foi discretizado e transformado em 37 plots, os quais representariam poços coletivos de captação de água.

Em relação ao “*cashBox*” e ao “*familyNeeds*”, ou seja, o valor disponível em caixa e as despesas familiares presentes na segunda versão do modelo foram considerados valores mais próximos à realidade. Os valores considerados, respectivamente, foram de um a dois salários mínimos para o “*cashBox*” e de 250 a 800 reais para o “*familyNeeds*”. Com isso, conciliando a nova versão do modelo conceitual e sua implementação no GAMA, diferentes cenários foram

simulados. Os diversos cenários foram definidos com base no jogo de representação de papéis, WaDiGa, ou seja, os parâmetros variados no modelo foram os mesmos possíveis de variação no jogo, os quais não eram influenciados por parte dos agentes, a precipitação e o mercado.

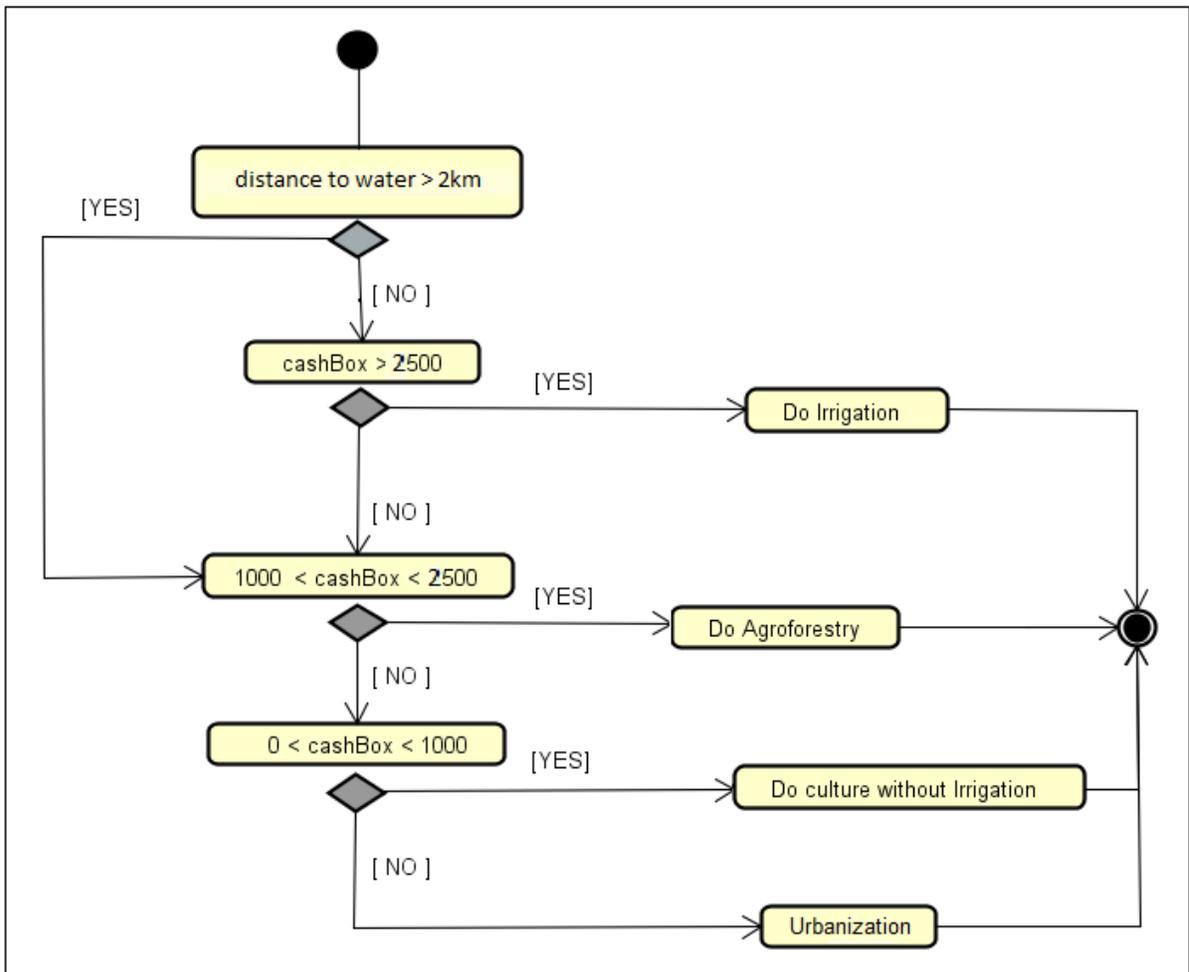


Figura 4.11 – Diagrama de atividades do agente agricultor na segunda fase do modelo.

Para o ano climático foram considerados três valores, úmido (média anual de 1000 mm), médio (média anual de 500 mm) e seco (média anual de 100 mm). Já para o mercado foram considerados dois tipos de mercado, um normal onde se ganha os valores normais mostrados na Tabela 4.6 e um mercado ruim, onde há uma redução de 40% no valor dos ganhos. Considerando todas as características dessa nova fase do modelo, foram simulados seis cenários.

Após a segunda fase do modelo, foi desenvolvido o protocolo ODD. Fez-se necessário a criação do protocolo no intuito de assegurar o bom entendimento por parte de terceiros sobre as características do modelo e sua possível replicação. A metodologia foi baseada na proposta por Grimm *et al.* (2006) e Grimm *et al.* (2010). Nessa perspectiva, o próximo subtópico será destinado à explicação sobre a elaboração do protocolo ODD para a versão final do modelo desenvolvido nessa dissertação.

4.6 ELABORAÇÃO DO PROTOCOLO ODD

Como mencionado no tópico 3.3.2, o ODD é composto por três blocos que apresentam ao total sete elementos (Quadro 3.1). Para a elaboração do ODD, foi considerado cada elemento proposto por Grimm *et al.* (2006) e Grimm *et al.* (2010). Para entender melhor a metodologia de elaboração do ODD para o modelo proposto nessa dissertação, a seguir será explicitado como foi feito para estabelecer cada um dos sete elementos.

4.5.1 Propósito

O primeiro elemento é o propósito que está presente no bloco de visão geral. O propósito do modelo foi o primeiro elemento a ser declarado devido à ordem proposta pelo protocolo e por colaborar para o entendimento sobre o motivo de alguns aspectos da realidade estarem presentes no modelo, enquanto outros são ignorados. Sendo assim, nesse elemento foi dada uma formulação clara, concisa e específica do propósito do modelo, servindo como guia para o que esperar da descrição do modelo.

4.5.2 Entidades, variáveis de estado e escalas

O segundo elemento do protocolo também presente em visão geral é o entidades, variáveis de estado e escalas. Para protocolar esse tópico algumas perguntas foram respondidas, tais como:

- Qual é a estrutura do sistema do modelo?
- Quais tipos de entidades de baixo nível são descritas no modelo?
- Por quais variáveis ou atributos de estado essas entidades são caracterizadas?

- Quais níveis hierárquicos existem?
- Como os ambientes abióticos e bióticos são descritos?
- Quais são as resoluções e extensões temporais e espaciais do modelo?

Dentro desse escopo, primeiro, foram identificados as entidades e seus tipos, que podem ser um objeto ou um ator distinto ou separado e que podem interagir com outras entidades ou serem afetadas por fatores ambientais externos. Em seguida, o conjunto completo de variáveis de estado foi descrito. As variáveis de estado referem-se às variáveis que caracterizam as entidades de baixo nível do modelo, podendo ser numéricas ou uma referência às estratégias comportamentais. Entre essas variáveis podem estar: localização, tamanho, tipo de uso e ocupação do solo, tipo de célula, estratégia comportamental, entre outras. Além delas, existem também as variáveis auxiliares ou agregadas, que contêm informações deduzidas das variáveis de estado de baixo nível, como por exemplo, o tamanho da população.

Outro fator identificado foram as escalas presentes no modelo. Essas escalas estão relacionadas ao tamanho das etapas de tempo, o horizonte de tempo, tamanho das células e extensão do mundo modelado. Embora as unidades espaciais frequentemente representem condições ambientais que variam no espaço, essa entidade foi referente ao ambiente geral, ou forçantes que orientam o comportamento e a dinâmica de todos os agentes ou células. Ao descrever as escalas e extensões espaciais e temporais, também foi especificado o que as unidades do modelo representam na realidade.

4.5.3 Síntese e etapas do processo

Nesse estágio, uma descrição verbal e conceitual de cada processo e seus efeitos foram feitos, porque o objetivo principal desse elemento do ODD é fornecer uma visão geral concisa. Além disso, o agendamento dos processos do modelo também foi detalhado. Esse procedimento mostra a ordem dos processos e, por sua vez, a ordem na qual as variáveis de estado são atualizadas. Para visualizar melhor todos esses procedimentos, um fluxograma foi elaborado.

4.5.4 Conceitos de Design

Os conceitos de design é a quarta etapa do protocolo e está presente no bloco de mesmo nome. Essa etapa providencia uma estrutura comum que favorece a projeção e comunicação entre os modelos baseados em agentes. Essa referida parte do protocolo foi desenvolvida a partir de uma pequena lista de verificação fornecida pelos autores, na qual os itens que não se aplicavam foram deixados de fora da descrição do modelo. A sequência dos itens da lista de verificação – em contraste com os sete elementos da ODD – não é obrigatória, entretanto, a mesma foi utilizada para assegurar o pleno entendimento sobre essa etapa da metodologia. É possível visualizar no Quadro 4.2 os itens presentes na supracitada lista e as respectivas perguntas a serem respondidas no.

Quadro 4.2 – Itens listados e as perguntas a serem respondidas para a elaboração do elemento conceito de design.

EMERGÊNCIA	Que fenômenos ao nível de sistema realmente emergem de traços individuais e quais fenômenos são meramente impostos?
ADAPTAÇÃO	Quais características adaptativas os indivíduos do modelo possuem que direta ou indiretamente podem melhorar seu potencial de aptidão, em resposta a mudanças em si ou em seu ambiente?
APTIDÃO	A busca por aptidão é modelada de maneira explícita ou implícita? Se explicitamente, como os indivíduos calculam a aptidão, ou seja, qual é a medida de sua aptidão? Em modelos onde o agente é social, outros “objetivos” devem ser considerados, tais como, receita econômica, controle de poluição, entre outros.
PREVISÃO	Ao estimar as consequências futuras de suas decisões, como os indivíduos predizem as condições futuras que irão experimentar?
DETECÇÃO	Quais variáveis de estado, interna e ambiental, os indivíduos assumem perceber e consideram em suas decisões?
INTERAÇÃO	Quais tipos de interação entre os indivíduos são assumidas?
ESTOCASTICIDADE	A estocasticidade faz parte do modelo? Se sim, quais são as razões?
COLETIVOS	Os indivíduos são agrupados em algum tipo de coletivo?
OBSERVAÇÃO	Como os dados são coletados para testes, compreensão e análise dos modelos baseados em agentes?

4.5.5 Inicialização

A inicialização está presente no bloco denominado de Detalhes. Para caracterizar esse elemento, algumas questões tiveram que ser lidadas nessa fase, tais como: Como o ambiente e os indivíduos são criados no início de uma simulação, ou seja, quais são os valores iniciais das variáveis de estado? A inicialização é sempre a mesma ou foi variada entre as simulações? Os valores iniciais foram escolhidos arbitrariamente ou baseados em dados? Sendo assim, as referências aos dados utilizados na inicialização do modelo foram todas fornecidas nessa etapa.

4.5.6 Entrada de dados

A entrada de dados é o sexto elemento do protocolo e o acréscimo da palavra “dados” na sua nomenclatura ocorreu a partir da revisão feita por Grimm *et al.* (2010). Nessa etapa, a pergunta regente foi: o modelo usa entrada de fontes externas, como arquivos de dados ou outros modelos, para representar processos que mudam com o tempo? Nos modelos de sistemas reais, a dinâmica é muitas vezes conduzida em parte por uma série temporal de variáveis ambientais, às vezes chamadas forçantes externas. Nessa etapa do protocolo, foi avaliado se uma ou mais variáveis ou os processos de estado eram afetados pelo modo como as variáveis ambientais mudavam ao longo do tempo, sendo somente consideradas as variáveis externas. Esse elemento propõem que para replicar um modelo baseado em agentes, qualquer entrada deve ser especificada e os dados ou modelos fornecidos, se possível.

4.5.7 Submodelos

O elemento denominado de submodelo é o sétimo e último do protocolo. Nele, todos os submodelos mencionados nos processos listados em “Síntese e Etapas do Processo” foram apresentados e explicados de forma discriminada, incluindo a parametrização do modelo. Por se tratar de um modelo não muito complexo, a versão escolhida para essa etapa foi uma descrição completa do modelo, que possui uma explicação verbal detalhada de cada equação e parâmetro. Para orientar essa parte do protocolo algumas perguntas foram respondidas, nas

tais há a resposta de como as hipóteses específicas foram subjacentes às equações e regras e os valores escolhidos dos parâmetros.

Sendo assim, os resultados obtidos para o protocolo ODD encontram-se presentes no Apêndice A.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, os resultados obtidos serão apresentados e uma discussão baseada nos mesmos será apresentada. Vale ressaltar que a metodologia escolhida se baseia no confronto de vários pontos de vista constituído por um grupo de partes interessadas que puderam levar, intervir e trocar ideias sobre o determinado assunto tratado, a gestão de recursos hídricos. As simulações baseadas em agentes são construídas para desenvolver e testar teorias sociais, outras têm um objetivo mais prático: ajudar um grupo de pessoas a entender seu mundo para controlá-lo e modificá-lo (Gilbert e Troitzsch, 2005).

Levando em consideração as duas ferramentas utilizadas, o primeiro tópico desse item será destinado aos resultados obtidos pelo jogo WaDiGa, em suas respectivas sessões. Na sequência, os resultados gerados pelo modelo implementado no GAMA também serão explicitados e discutidos.

5.1 RESULTADOS OBTIDOS NO WADIGA

Nesse subitem são mostrados e discutidos os resultados obtidos nas respectivas sessões do jogo. Começando com a primeira sessão e prosseguindo com a análise da segunda sessão.

5.1.1 Resultados e discussão relacionados à primeira sessão do jogo WaDiGa

A primeira sessão do jogo de representação de papéis, WaDiGa, foi realizada no dia 6 de fevereiro de 2019 em um espaço denominado de plenária localizada no Assentamento Canaã. Com essa dinâmica pode-se obter uma maior aproximação e interação com a comunidade. O jogo contou com onze participantes moradores do assentamento, dos quais havia uma grande diversidade de gênero e idade, o que proporcionou uma heterogeneidade da amostra em relação aos jogadores. A primeira sessão do jogo foi composta por cinco sucessivas rodadas, cada uma correspondente a um ano agrícola, possibilitando a visualização no tabuleiro e na organização coletiva dos jogadores uma evolução sobre o uso da terra e da água.

No início do jogo foi observada a maneira pela qual os participantes escolheram suas propriedades. Um dos principais quesitos na escolha foi à proximidade com o rio. Além disso, levando em consideração a respectiva realidade do assentamento, alguns participantes escolheram propriedades mais a jusante do rio, pois no assentamento a captação de água normalmente é realizada por meio de poços, sendo a parte mais baixa a detentora de grandes quantidades de água devido ao nível dos lençóis freáticos. Alguns participantes também optaram por propriedades não contíguas priorizando o quesito de permanência próxima ao rio.

Na primeira rodada os participantes escolheram o tipo de cultura que seria “implementada” em cada propriedade. A escolha poderia diferir entre milho/mandioca, comumente chamado de roça ou lavoura pelos agricultores do assentamento Canaã, sistemas agroflorestais (SAF) e morango/maracujá (culturas irrigadas). Devido ao histórico do assentamento e a participação em sua totalidade dos jogadores em mutirões agroflorestais, esse tipo teve uma boa aceitabilidade, entretanto, em sua totalidade o maior número de propriedades foi ocupado por roça, devido ao seu baixo custo inicial. A jogadora de maior idade não escolheu nenhuma cultura do tipo SAF, o que pode ser um indicativo de que agricultores mais antigos preferem sistemas mais tradicionais de plantio. A Figura 5.1 mostra a distribuição inicial das culturas por cada participante.

De forma aleatória, a primeira rodada apresentou baixa precipitação. Sendo assim, alguns participantes já cogitavam uma negociação para obter água e havia algumas reclamações relativas à alocação excessiva desnecessária de água na plantação de roçado por parte de alguns jogadores. Notou-se também que a disposição do roçado era preferencialmente alocada nas propriedades mais distantes do rio, pois a irrigação necessária, segundo os jogadores, seria anual. Já as culturas de SAF que, no entendimento dos participantes, necessitava de mais água e proporcionaria a preservação das matas ciliares foram predominantemente dispostas juntas ao rio.

29	p1	30	p7		31	p2	32	p8
1	1	1	1		3	3	1	1
25	p9	26	p1		27	p7	28	p10
1	1	2	3		2	1	2	3
21	p4	22	p9		23	p2	24	p10
2	2	2	1		1	1	1	1
17	p4	18	p8		19	p2	20	p11
1	2	2	2		1	1	1	1
13	p4	14	p1		15	p3	16	p11
1	0	2	3		1	1	2	2
9	p6	10	p6		11	p2	12	p6
1	0	3	0		1	0	1	0
5	p1	6	p5		7	p5	8	p12
1	0	1	0		2	0	2	0
1	p12	2	p3		3	p3	4	p5
1	0	2	0		1	0	1	0

ID	CULTURA
0	Pousio
1	Mandioca/Milho
2	SAF
3	Maracujá/Morango

Número do plot	1	p7	Proprietário do plot
Tipo de cultura	1	0	Unidade de água/plot

Figura 5.1 – Disposição das culturas na primeira rodada do jogo.

Referente à alocação de água nas propriedades, os participantes que tinham acesso à água naquela rodada, que eram poucos devido ao ano seco, apresentaram duas posições diferentes. A primeira seria a alocação de somente uma unidade de água na cultura SAF, pois o ano era de baixa precipitação; já o segundo posicionamento foi o de colocar o máximo de unidades de água na cultura SAF, independente do nível de precipitação apresentado na rodada. Uma das conclusões exposta pelos participantes ao fim da primeira rodada foi que os participantes que

colocaram pouca água em suas propriedades, pensando coletivamente e na preservação ambiental, acabaram obtendo prejuízo financeiro.

Na segunda rodada, o ano apresentou precipitação mais elevada de acordo com lance aleatório. Os participantes que detiveram uma boa renda na rodada anterior não mudaram seus tipos de cultura, mantendo uma posição conservadora em relação aos investimentos, pois, segundo eles temiam o prejuízo. No momento da alocação de água, os jogadores optaram por não discutir sobre as estratégias que poderiam ser adotadas ou um possível acordo coletivo. Devido à abundância de água gerada pelo bom ano climático, alguns jogadores colocaram mais água do que o necessário em suas propriedades, mostrando que a preocupação com a água ocorre mais em momentos de escassez. Também foi notório que os participantes apresentavam grande preocupação em relação às culturas do tipo SAF, dando prioridade a esse tipo de cultivo. A grande quantidade de água e o bom funcionamento do mercado fizeram todos os jogadores lucrarem bem na segunda rodada, como mostra a Figura 5.2. O aumento da renda também decorreu do fato da sobra de água para as parcelas situadas mais a jusante do rio.

Sendo assim, pode-se inferir do resultado dessa segunda rodada que quando há mais acesso à água de forma geral oriunda de uma gestão coletiva dos recursos hídricos, é notado um aumento equitativo da renda local. Isso se torna evidente, pois na primeira rodada muitos jogadores presentes na parte à jusante do rio, de forma mais precisa um total de treze participante, não tiveram acesso à água, como mostra a Figura 5.1. Como consequência, da falta de água, a renda desses respectivos participantes foi baixa se comparada à renda da segunda rodada, como mostra a Figura 5.2 e a Tabela 5.1, tendo um significativo crescimento de 44% na segunda rodada, onde já havia água em abundância.

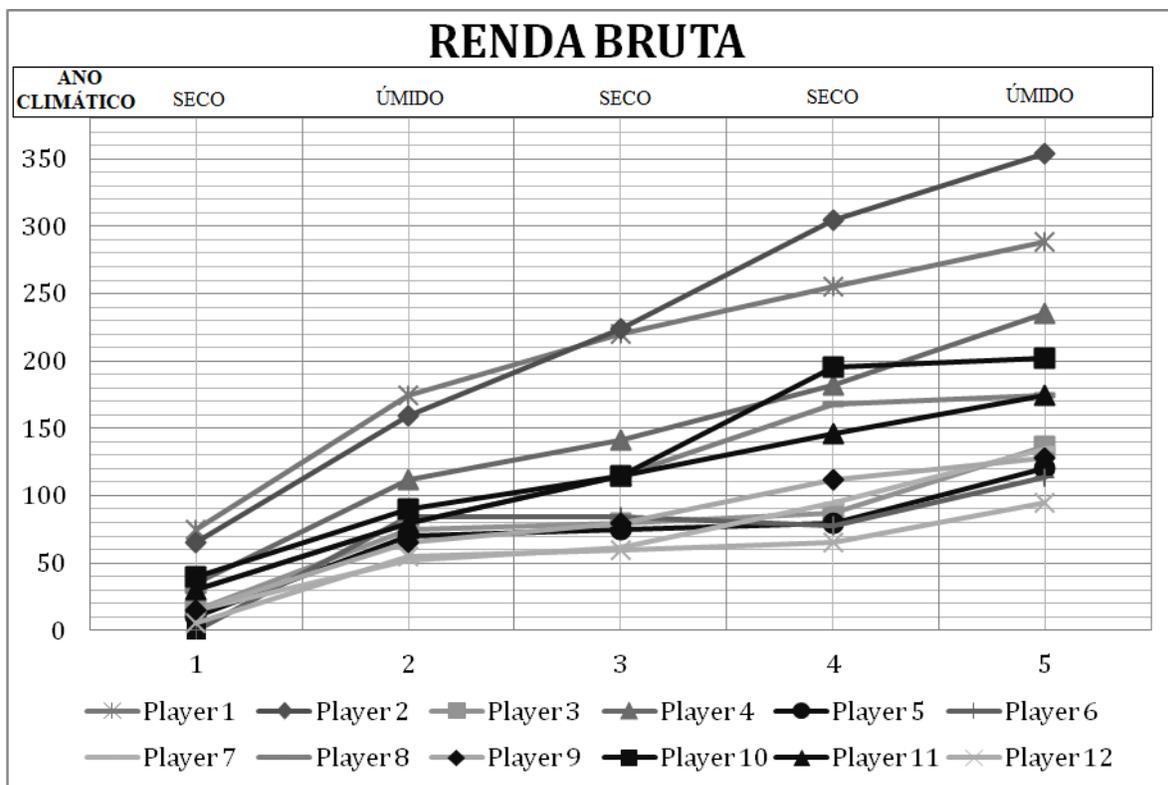


Figura 5.2 – Renda bruta gerada de cada jogador nos respectivos anos (rodadas) do jogo.

Vale ressaltar que o bom faturamento da segunda rodada se deu devido a uma forte precipitação no ano e ao bom funcionamento do mercado, não devido a uma gestão coletiva da água, que não existiu durante as rodadas do jogo.

Tabela 5.1 – Renda de cada jogador nos respectivos anos (rodadas) do jogo e a renda total gerada em cada ano.

JOGADORES													
ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total/Ano
1	75	65	15	35	10	0	15	30	15	40	30	5	335
2	100	94	60	77	60	84	37	50	50	50	50	50	761
3	45	65	5	30	5	0	10	35	15	25	35	5	275
4	36	81	7	40	5	-6	33	53	32	80	31	5	396
5	33	49	50	53	40	36	40	7	17	7	29	30	391

Já na terceira rodada, devido aos bons faturamentos da rodada anterior, houve uma grande mudança de culturas, sendo em sua predominância a mudança de roça para SAF, como mostra a Figura 5.3. Além do aumento do número de SAFs, também houve um tímido aumento das culturas irrigadas, mudando, assim, significativamente o cenário do jogo.

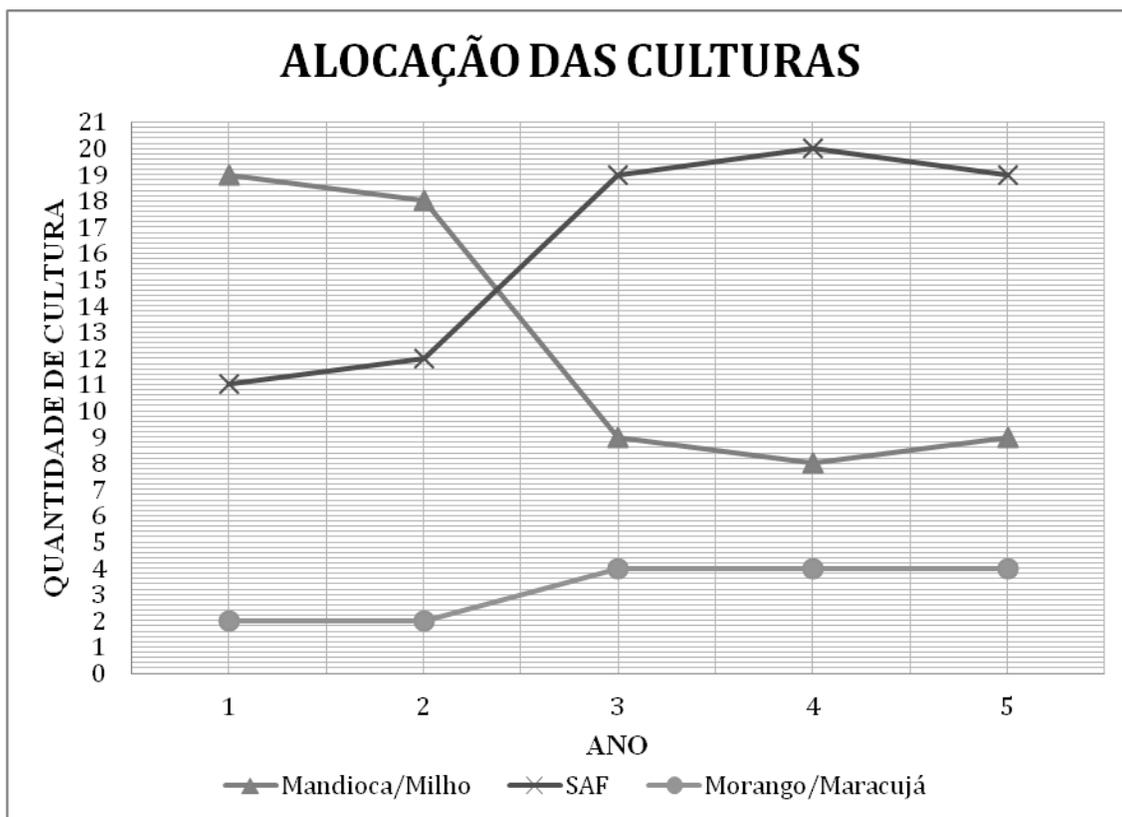


Figura 5.3 – Quantidade dos três tipos de culturas alocada nas pelos jogadores em suas propriedades nas cinco rodadas de jogo.

Essa mudança também pode estar atrelada à forte influência do fator econômico no processo de tomada de decisão relacionado à mudança de cultura agrícola na região. Sendo assim, esse resultado mostra que quanto maior é a renda, mais provável será o investimento da comunidade do assentamento em SAF.

Apesar de toda a expectativa projetada para a terceira rodada, o ano apresentou baixa precipitação. Portanto, a comunidade optou por conversar. Na conversa foi ressaltado que uns jogadores possuíam acesso a uma maior quantidade de água do que outros e que isso não era

justo, o que condizia com a realidade do assentamento. Apesar das referidas colocações, ninguém quis negociar nem propôs uma gestão colaborativa da água.

Mesmo com a falta de acordos previamente firmados, a pouca precipitação ajudou na redução, por parte dos jogadores a montante, da captação de água, sendo esse um processo majoritário, mas não totalitário. Isso mostra que a conversa antes da distribuição de água nas propriedades colaborou para uma maior consciência de quem tinha mais acesso à água e ajudou a diminuir o consumo entre os anos 2 e 3, como mostra a Figura 5.4. Em suma, a redução pode ter sido gerada pela percepção da escassez hídrica no ano e pelo diálogo entre os participantes.

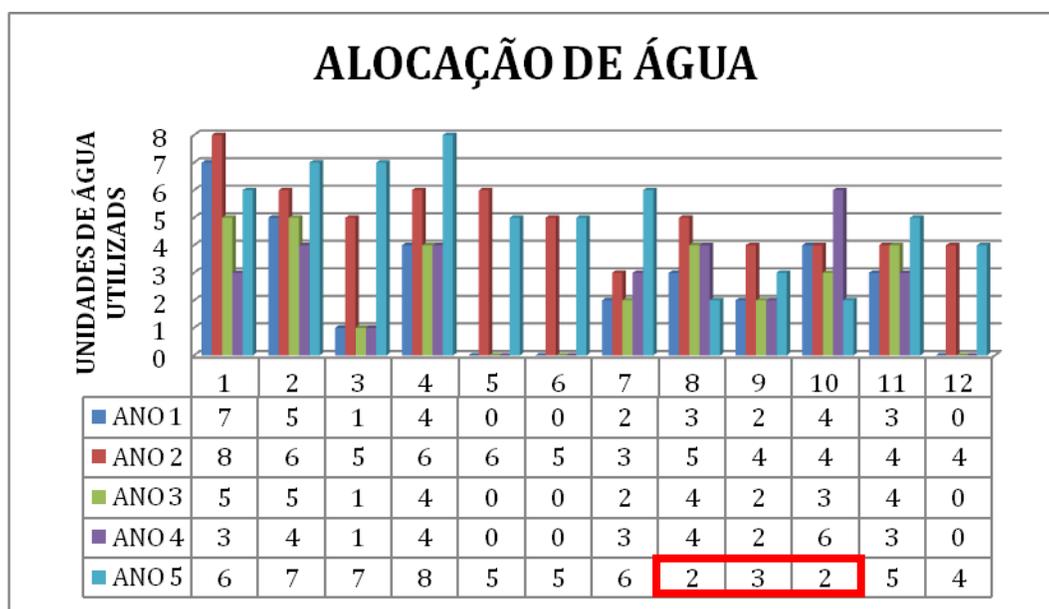


Figura 5.4 – Alocação de água realizada pelos jogadores por ano

Nessa rodada também foi perceptível questões relacionadas a valores. A escassez de água fez com que um jogador oferecesse uma determinada quantia monetária por unidade de água. Entretanto, o jogador que recebeu a proposta respondeu que “não venderia água”, mostrando sua conotação subjetiva de que água é um bem não precificável. Esse não foi o único caso envolvendo questões monetárias. Outra proposta, que vai ao sentido contrário, sugeria que a solução para a falta de água a jusante fosse o pagamento por esse bem, ou seja, segundo os jogadores, se os participantes a montante pagassem pela água, eles hesitariam antes de colocar

mais unidades de água do que o necessário ou até mesmo colocariam menos unidades em suas propriedades.

Por se tratar de uma rodada de baixa disponibilidade hídrica, apareceram algumas outras indagações, como, quem possui mais terras e estava mais acima, possuía mais acesso à água e, logo, mais lucro. Já quem possui menos terras e estava mais embaixo, possuía menos água e, conseqüentemente, menos lucro. Sendo assim, a solução para uma maior equidade de renda seria os jogadores acima pensarem nos jogadores abaixo de uma forma mais coletiva.

Depois dos impasses e reflexões da terceira rodada, na rodada seguinte, os jogadores começaram a fazer analogias entre o jogo e a vida real, citando “quem tem o recurso não quer saber de quem não tem” e exaltando a questão do individualismo. A analogia com a vida real também fez com que alguns participantes internalizassem o tipo de cultura que estava sendo cultivado em suas propriedades, o morango foi um exemplo. Apesar do seu alto índice de irrigação, o jogador não se importava com a quantidade de água que iria gastar, mesmo com os índices de precipitação sendo baixos no quarto ano.

Alguns jogadores tentaram comprar propriedade a montante, mas não obtiveram êxito e uma das alternativas foi mudar sua cultura para roça. Sendo assim, é notório que a falta de água e a proximidade com esse recurso pode influenciar a tomada de decisão da comunidade em relação à escolha das culturas e o uso e ocupação da terra que a propriedade pode ter. Dentro dessa perspectiva, um dos comentários mais marcantes foi que se as propriedades a jusante continuassem sem água e com baixa renda, acabariam virando condomínios, o que de fato expressa a realidade da especulação imobiliária na região.

Na quinta rodada, jogadores que tiveram uma boa renda nos anos antecedentes acabaram optando por deixar parte da água escoar para os participantes a jusante devido a uma maior pressão por parte de outros jogadores. É possível notar o reflexo dessa decisão na Figura 5.4, onde os jogadores p3, p5, p6 e p12, localizados mais a jusante (Figura 5.1), tiveram acesso à água no ano 2 (que teve alta precipitação) e no ano 5 (alta precipitação + decisão coletiva). Mesmo os dois anos possuindo alta precipitação, houve uma influência no montante de água

distribuída entre os jogadores a montante e a jusante devido ao acordo coletivo feito de deixar mais água escoar para montante. Apesar da disposição de uns em deixar a água escoar, alguns jogadores localizados a montante mesmo com muito dinheiro tinham medo de perder a cultura irrigada e, como consequências, alocaram nessa rodada toda a água necessária para a cultura. Percebe-se nessa fase que a coletividade é mais acentuada em períodos de muita precipitação e enfraquecida em períodos de escassez.

No final do jogo, ao serem questionados sobre a dinâmica, os jogadores colocaram suas percepções em relação à vida e ao jogo. Todos os jogadores gostaram do jogo e consideraram que ele poderia ajudar em iniciativas de gestão compartilhada de água. Entre as percepções trazidas está a declaração de que trabalhar na agricultura não é fácil, pois existem vários fatores incertos, sendo um deles e o mais importante a chuva. Além disso, muitos concluíram que o jogo refletiu o comportamento dos atores em seu dia a dia, predominando a falta de companheirismo e discussão na comunidade e que para melhorar essa situação deve-se trabalhar coletivamente. Outro aspecto que também surgiu foi a questão do planejamento, pois saber investir é importante e o trabalho coletivo pode ajudar nessas horas. Por meio da dinâmica desenvolvida durante o jogo, os atores perceberam que o coletivo é importante para a gestão dos recursos hídricos e que o debate deve sempre ser exercido.

A falta de coletividade e o individualismo foram às questões mais marcantes pelos participantes e os jogadores concluíram que se todos os jogadores usassem a água de forma consciente, seria possível compartilhar água mais equitativamente. Outra análise ressaltou a questão da pressão coletiva que apresentou o poder de mudar o tipo de cultura de determinados participantes visando à economia de água. Apesar do individualismo, muitos acreditam que no assentamento há a consciência da questão hídrica, mas a falta de espírito coletivo interfere na tomada de decisão, ou seja, muitos pensam somente em si.

Sendo assim, nessa primeira sessão foi perceptível o interesse dos jogadores pela ferramenta e a noção de que ela pode trazer benefícios para a comunidade local. Além disso, segundo os participantes, houve uma identificação de comportamento semelhante ao presente na vida real,

mostrando assim que o jogo teria potencial para identificar os comportamentos da comunidade local.

5.1.2 Resultados e discussão relacionados à segunda sessão do jogo WaDiGa

A segunda fase do jogo teve o propósito de trazer uma abordagem mais próxima à realidade do assentamento. No processo de modelagem participativa é importante que os jogadores tenham sua realidade bem representada nos jogos de representação de papéis. Essa similaridade corrobora para uma calibração mais efetiva das tomadas de decisão presentes na comunidade. Ao identificar sua realidade, os jogadores acabam reproduzindo suas reais decisões no jogo e explicitando suas prioridades e preferências.

A segunda sessão do jogo contou novamente com a participação de onze jogadores. A heterogeneidade etária e de gênero foi mantida, entretanto, o jogo foi realizado com um grupo diferente do primeiro, tendo em comum somente dois jogadores. Mesmo apresentando uma heterogeneidade etária significativa, essa sessão do jogo não contou com jogadores idosos, diferente da sessão passada, onde havia uma representante desse grupo etário. A sessão do jogo foi realizada no dia 22 de março na parcela de um dos jogadores.

Essa sessão contou somente com três rodadas, pois devido ao cansaço dos participantes que permaneceram o dia todo em mutirão, foi avaliado pelos próprios jogadores que seria melhor parar na terceira rodada. Outro fator que também influenciou a diminuição no número de rodadas foi o maior número de etapas dessa sessão, ou seja, a inclusão da utilização de poços individuais no jogo, que colaborava para uma maior reflexão dos jogadores sobre comprar ou não os poços e suas interações com o banco, gerando uma demora maior entre rodadas.

A configuração da escolha de culturas da primeira rodada do jogo apresentou uma similaridade com a configuração da primeira rodada na primeira sessão (Figura 5.1 e Figura 5.5). Mesmo sendo o custo de implementação da roça de Mandioca/Milho igual à zero, muitos optaram por também selecionar propriedades agroflorestais (SAF). No entanto, nessa sessão, culturas irrigáveis de Maracujá/Morango não foram selecionadas na primeira rodada. O

número de roça de Mandioca/Milho foi o mesmo para as duas sessões, somando em cada sessão um total de 19 propriedades, como mostra a Tabela 5.2. A Tabela 5.2 também mostra a quantidade de propriedade nas quais foram selecionadas as demais culturas em cada sessão.

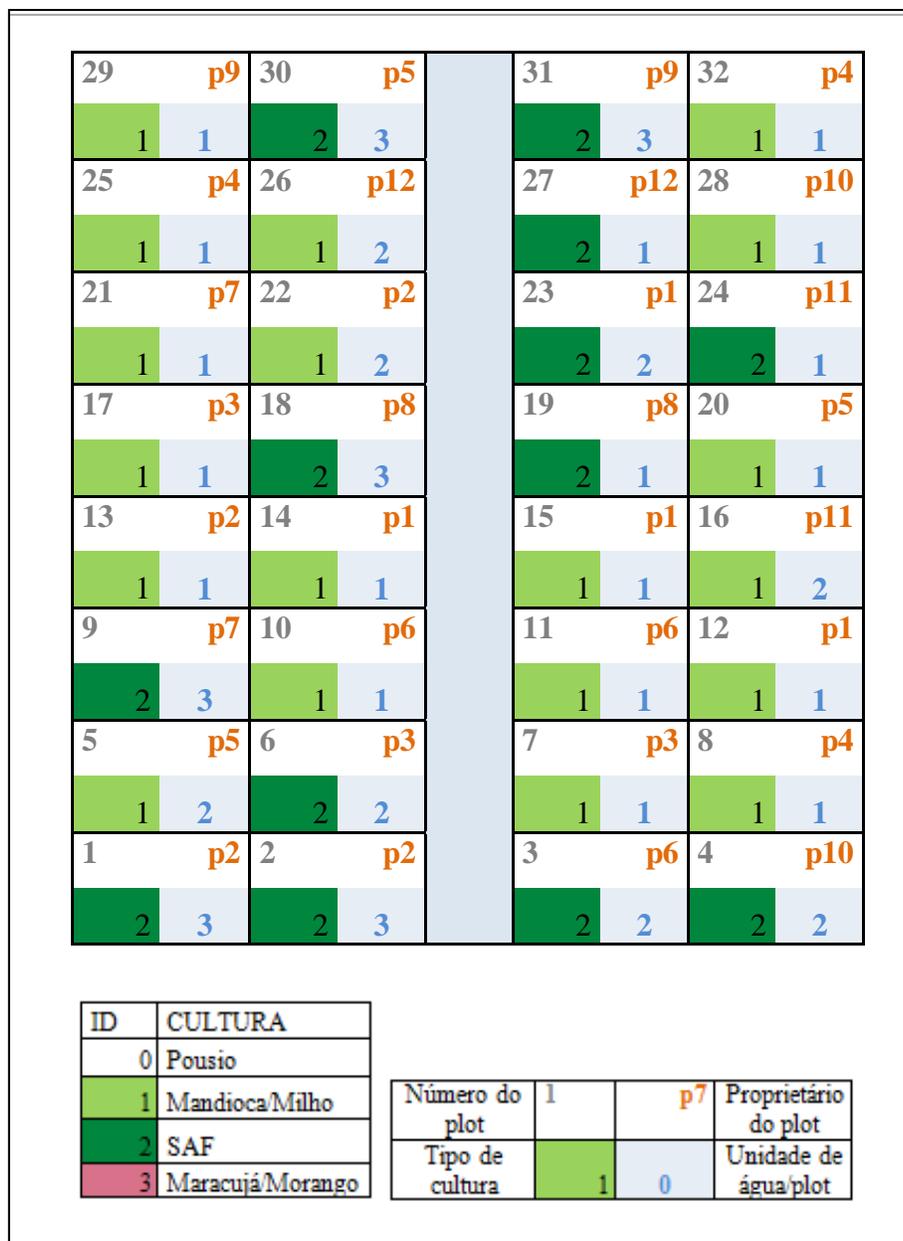


Figura 5.5 – Disposição das culturas na primeira rodada do jogo da segunda sessão.

Tabela 5.2 – Quantidade de propriedade com determinado tipo de cultura na primeira rodada.

	PRIMEIRA SESSÃO DO JOGO	SEGUNDA SESSÃO DO JOGO
Mandioca/Milho	19	19
SAF	11	13
Maracujá/Morango	2	0

Essa semelhança entre as duas sessões mostra que apesar dos jogadores não serem os mesmos, no Assentamento Canaã há uma tendência na hora de escolher os tipos de cultura. As escolhas do SAF podem estar atreladas aos mutirões agroflorestais que vêm sendo desenvolvidos na região. Já a predominância na escolha inicial por roça pode estar relacionada à questão monetária tendo em vista que os participantes não recebem altos valores no início do jogo, impossibilitando altos investimentos.

Como mencionado na metodologia, nessa nova sessão, os jogadores possuíam a opção de colocar poços individuais em suas propriedades. Na primeira rodada somente quatro poços foram colocados, todos situados na parte mais “baixa” do terreno, onde o preço era mais barato. Sendo assim, os demais jogadores não optaram por colocar poço devido, principalmente, ao preço que é maior na parte mais alta.

O primeiro ano foi caracterizado por uma precipitação normal e um mercado médio. A normalidade na precipitação fez com que os poços coletivos ao final da rodada ainda possuíssem água. Nessa rodada, 21,8 % das propriedades obtiveram menos água do que a cultura exige para obter o retorno monetário máximo, como mostra a Figura 5.5. Já um percentual de 12,5% das propriedades apresentou mais água do que o necessário. O restante, 65,6%, obteve a quantidade de água necessária para ter seu faturamento máximo. Esses dados mostram que o desperdício de água nessa rodada do jogo não apresentou valores muito significativos, mas mesmo assim uma campanha de conscientização da água poderia melhorar ainda mais a eficiência no consumo de água e na produção agrícola. Por ser um ano com precipitação normal, não houve muitos conflitos em relação à utilização da água e nesse

sentido os jogadores optaram por não discutir sobre uma gestão estratégica do uso da água para as próximas rodadas.

Considerando a normalidade da primeira rodada, na segunda ocorreu uma transição de culturas de roça de Mandioca/Milho para SAF, como mostra a Figura 5.6. Essa transição segue a mesma tendência da primeira sessão do jogo, onde há um aumento de SAF, diminuição da roça de Mandioca/Milho e uma constância nas culturas irrigadas, Maracujá/Morango.

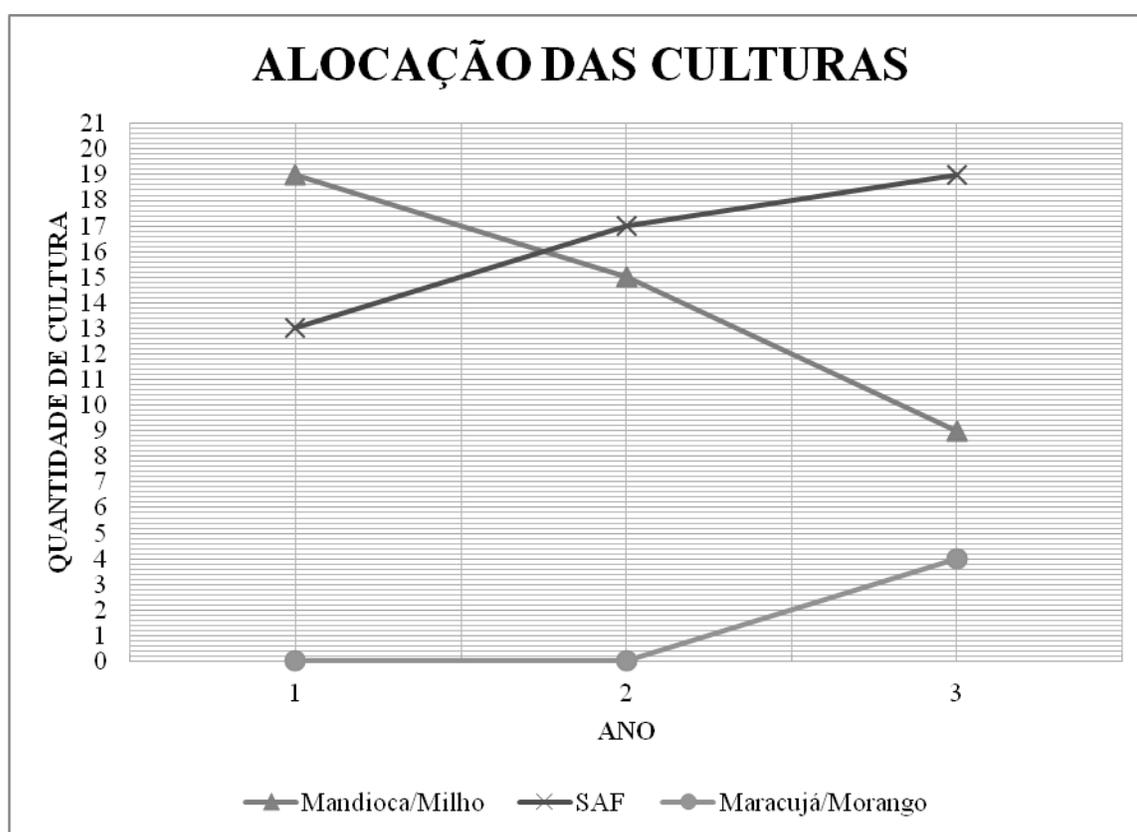


Figura 5.6 – Quantidade dos três tipos de culturas alocada nas pelos jogadores em suas propriedades nas 3 rodadas de jogo.

Nessa rodada, quem possuía dinheiro optou por comprar poços. Muitos alegavam que o poço era uma garantia em caso de seca, outros já acreditavam que esse investimento tinha um risco, pois caso não chovesse, o poço poderia secar. Mesmo tendo intervenções voltadas ao risco de investimento em poços, elas foram ínfimas, predominando a ideia de que os poços individuais

seriam a solução. Sendo assim, houve um aumento significativo no número de poços, passando de 4 na primeira rodada para 17 na segunda.

O aumento da quantidade de poços individuais reflete a realidade do assentamento. Segundo os jogadores, sem os poços fica impossível produzir o ano todo, somente nos períodos chuvosos. A maioria dos jogadores almeja ter poços em suas propriedades, entretanto, devido ao preço muitas vezes eles se tornam inacessíveis. Apesar de ser perceptível a importância dos poços para a comunidade, não houve nenhum diálogo no jogo sobre uma estratégia de utilização dos poços coletivos. Ao ganhar o dinheiro da primeira rodada, os jogadores só pensar em investir em poços individuais, mostrando a falta de uma gestão colaborativa da água na região.

Além dos poços, houve discussões sobre a escolha da cultura em relação ao preço e as possíveis variações do mercado. Alguns jogadores até cogitaram pegar um empréstimo no banco, mas ficaram receosos e acabaram desistindo. A desistência foi motivada pela insegurança e desencorajamento por parte de outros jogadores. A segunda rodada foi marcada por um ano de precipitação elevada. A alta disponibilidade de água pode ter levado os jogadores a utilizarem mais água do que o necessário. As parcelas que apresentaram mais água do que o necessário para obter o lucro máximo subiram de 12,5% na primeira rodada para 28,1% na segunda, tendo um aumento de 44,5%. Isso mostra a necessidade de uma conscientização em relação à economia de água principalmente em períodos de abundância.

O aumento na quantidade de água, também mostra que com um maior número de poços individuais no tabuleiro, os participantes mudaram sua maneira de utilizar a água. Muitas vezes por ter um poço, os jogadores apresentam mais segurança na utilização desse recurso e acabam não se preocupando com os gastos adicionais ou com o desperdício.

A terceira rodada também teve uma elevação na quantidade de poços, uma pouco menor que a segunda rodada, chegando a 20 poços, um total de 62,5% das propriedades. A concentração dos poços ficou mais na parte baixa do tabuleiro, muitos jogadores da parte alta não conseguiram investir em poços devido ao alto valor dos mesmos na região. Isso refletiu a

realidade da comunidade, chegando a ter colocações no jogo tal como: “a cabeceira tem menos água, sempre é assim”, o que mostra que o jogo conseguiu representar parte da realidade local.

A terceira rodada foi caracterizada por uma boa precipitação e um mercado ruim. Com a abundância da água na rodada passada e a implementação de vários poços individuais, culturas irrigáveis, Maracujá/Morango, apresentaram um aumento em sua quantidade. Ao final do jogo, como o esperado, a predominância dos jogadores que possuíam mais propriedades acabou com uma renda total maior do que os jogadores que possuíam menos propriedades, como mostra a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Renda obtida por cada jogador em cada ano do jogo da segunda sessão.

JOGADORES												
ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50	80	40	30	50	40	40	35	40	30	15	15
2	70	130	90	60	90	90	50	50	50	50	50	50
3	60	130	80	50	100	90	30	40	70	60	40	40
Total	180	340	210	140	240	220	120	125	160	140	105	105

No final do jogo, ao serem perguntados sobre o que eles acharam, foi respondido que o jogo foi bom e que era uma boa forma de aprender mais como investir e manusear o dinheiro. Outro jogador comentou que o jogo foi legal e que no assentamento há muitos problemas em relação aos conflitos pela água, pois alguns pegam mais água que outros e que seria bom aplicar o jogo mais vezes para que todos pudessem aprender a compartilhar mais a água.

Alguns jogadores ressaltaram que o jogo trouxe uma visão interessante de que se cada um furar um poço, o impacto que isso pode provocar seria grande e que uma alternativa seria o compartilhamento de poços. Já existe a realidade de compartilhamento de poço no assentamento, mas é raro os vizinhos entrarem em acordo, sendo essa alternativa uma exceção. Muitas vezes os excessivos gastos realizados em um poço com baixa produtividade de água, poderiam ser menores se houvesse o compartilhamento de água entre os vizinhos. Sendo

assim, o jogo foi considerado bom pelos jogadores por retratar a realidade do assentamento. Alguns jogadores chegaram a solicitar que o jogo fosse feito em suas respectivas parcelas.

Assim como na primeira sessão foi perceptível o interesse dos jogadores pela ferramenta e a noção de que ela pode trazer benefícios para a comunidade local. Além disso, reafirmou a identificação da semelhança de comportamento com a vida real, mostrando assim que o jogo tem potencial para identificar os comportamentos da comunidade local. Nesse sentido, o jogo, além de se mostrar uma plataforma de possível diálogo, interação e empoderamento, pode servir de base para tirar alguns parâmetros e seus valores a serem usados no modelo e, também, confirmar teorias já preconizadas no mesmo.

5.2 RESULTADOS OBTIDOS PELO MODELO BASEADO EM AGENTES

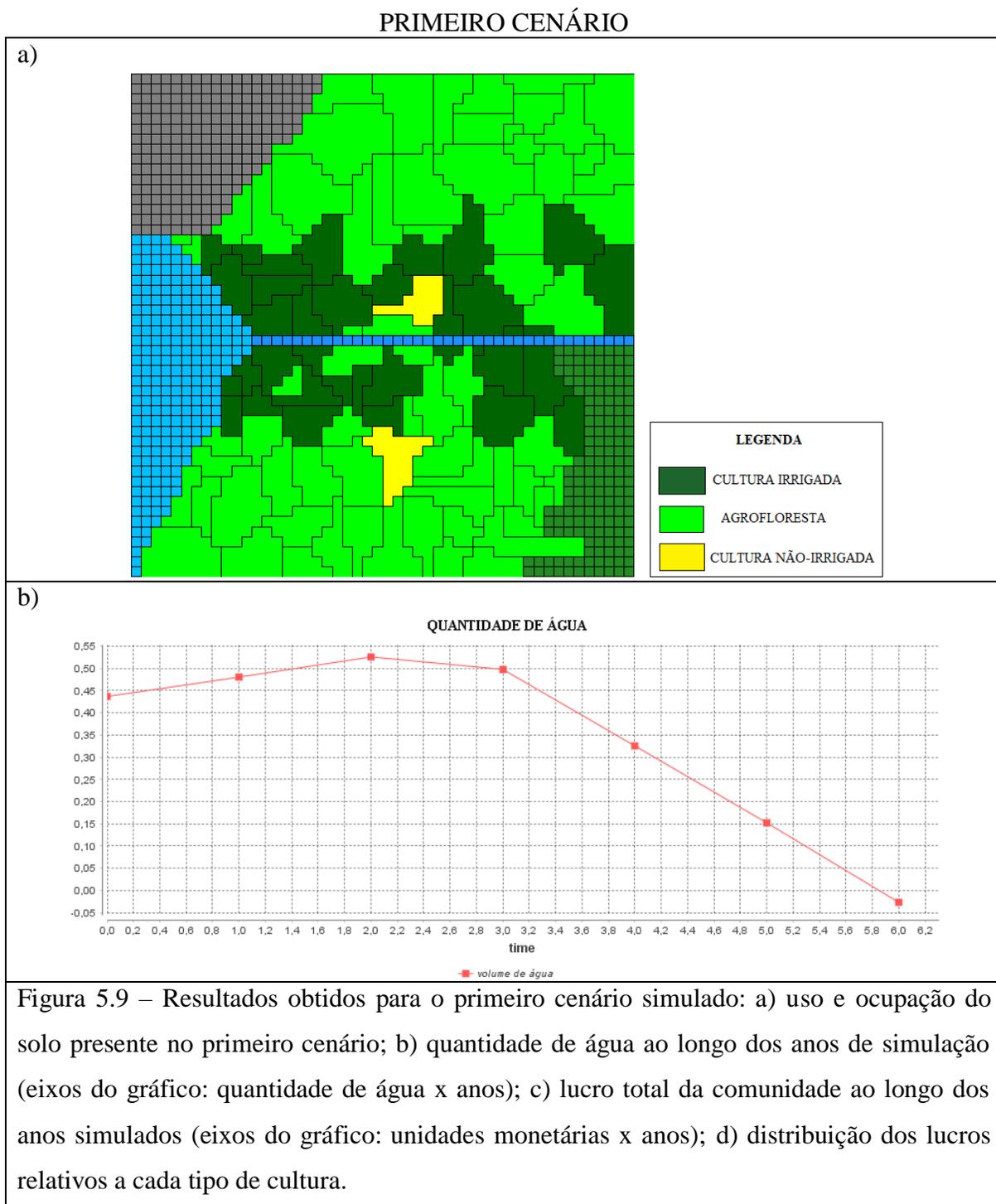
Esse item terá o objetivo de mostrar os resultados gerados por meio do modelo baseado em agentes desenvolvido. Como citado na metodologia, seis simulações foram realizadas, todas elas variando em relação ao ano climático e o mercado. A primeira simulação foi realizada com o mercado num nível alto e um ano climático úmido. As saídas do modelo apresentam quatro informações:

- O uso e ocupação do solo;
- Quantidade de água utilizada no sistema;
- O lucro total da comunidade; e
- A porção dos lucros para cada tipo de cultivo.

Os resultados de cada simulação serão compilados em uma única figura e nela a sequência dos dados de saída será a mesma dos tópicos supracitados, sendo a primeira imagem referente ao uso e ocupação do solo final, a segunda a quantidade de água total utilizada, a terceira o lucro gerado pela comunidade e a última o ganho final gerado por cada tipo de cultura.

No primeiro cenário foi possível notar que com um alto mercado e um ano com muita precipitação, a quantidade total de água do sistema foi à zero com apenas 5,8 anos de simulação e teve como predominância o uso de culturas agroflorestais e irrigáveis. As frações

de geração de riqueza ao final da simulação ficaram entre 44% para agrofloresta, 31% para milho e 25% para maracujá no faturamento total da comunidade. O lucro da simulação apresentou altos valores chegando à R\$ 1.100.000,0 de unidades monetárias, como mostra a Figura 5.9.



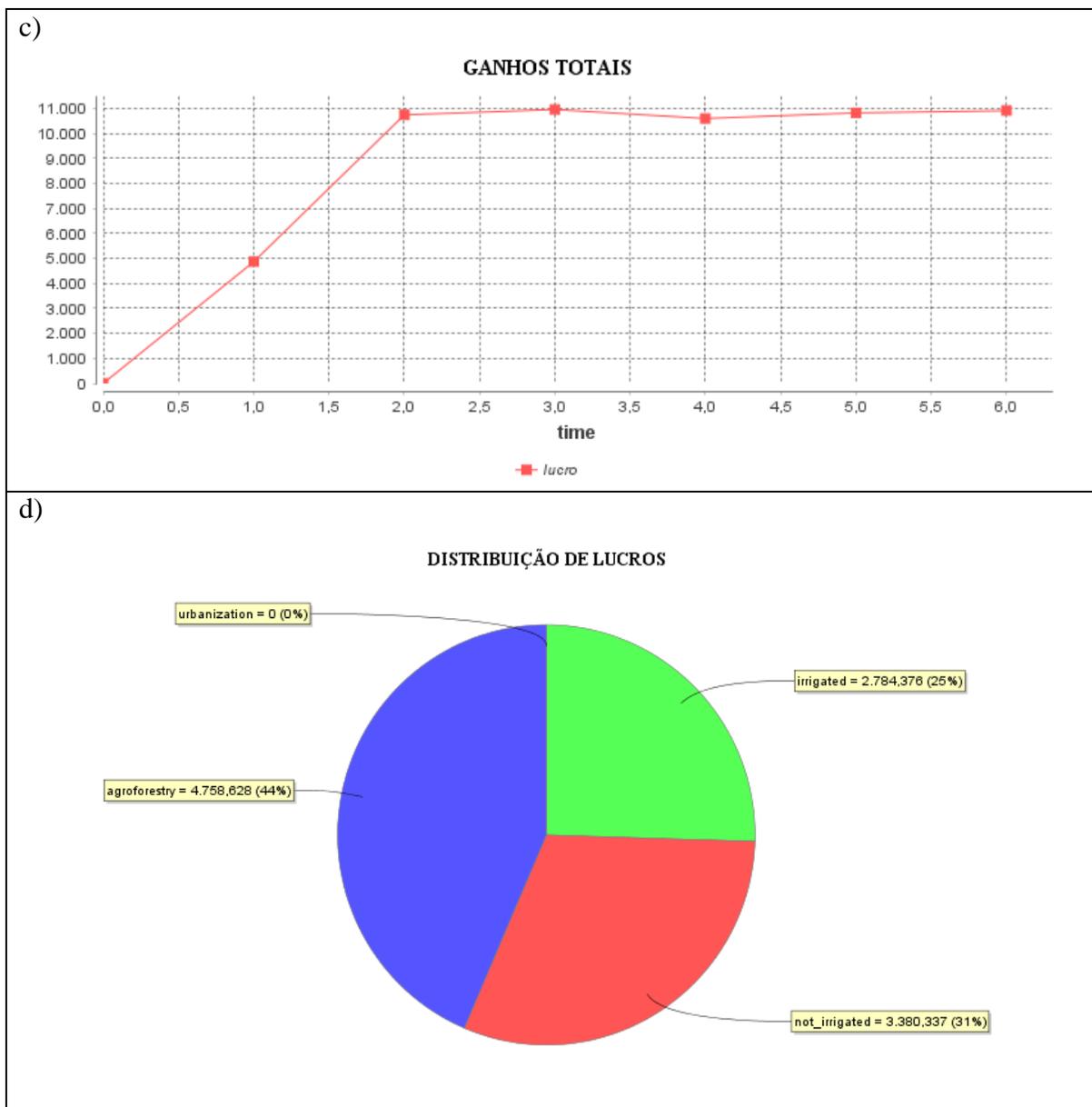


Figura 5.9 – Resultados obtidos para o primeiro cenário simulado: a) uso e ocupação do solo presente no primeiro cenário; b) quantidade de água ao longo dos anos de simulação (eixos do gráfico: quantidade de água x anos); c) lucro total da comunidade ao longo dos anos simulados (eixos do gráfico: unidades monetárias x anos); d) distribuição dos lucros relativos a cada tipo de cultura.

Com esses resultados pode-se notar que mesmo tendo uma quantidade enorme de lucro a água acabaria em poucos anos, o que impactaria de forma significativa e nociva o meio ambiente, a produção e gerações futuras. Outra explanação que também é possível fazer estar relacionada

ao “*trade off*” em relação à disponibilidade de água e o consumo consciente, pois ao apresentar uma elevada precipitação, pode-se inferir do modelo que um maior consumo de água foi ocasionado e um rápido esgotamento desse recurso hídrico. Outro aspecto interessante desse resultado é a semelhança com a situação vivenciada no jogo, onde com o mesmo cenário houve uma resposta parecida dos participantes no quesito de aumento da quantidade de culturas irrigáveis. No segundo cenário simulado ainda foi considerado um ano climático úmido, mas em contrapartida o mercado financeiro foi considerado ruim. A Figura 5.10 mostra os resultados obtidos para esse cenário.

SEGUNDO CENÁRIO

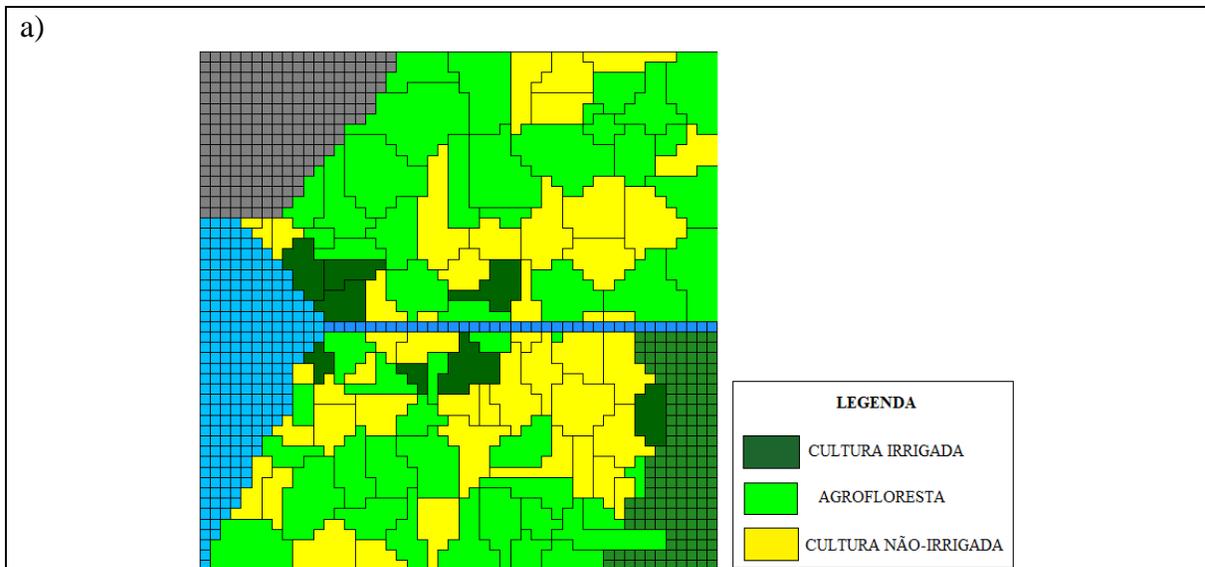


Figura 5.10 – Resultados obtidos para o segundo cenário simulado: a) uso e ocupação do solo presente no segundo cenário; b) quantidade de água ao longo dos anos de simulação (eixos do gráfico: quantidade de água x anos); c) lucro total da comunidade ao longo dos anos simulados (eixos do gráfico: unidades monetárias x anos); d) distribuição dos lucros relativos a cada tipo de cultura.

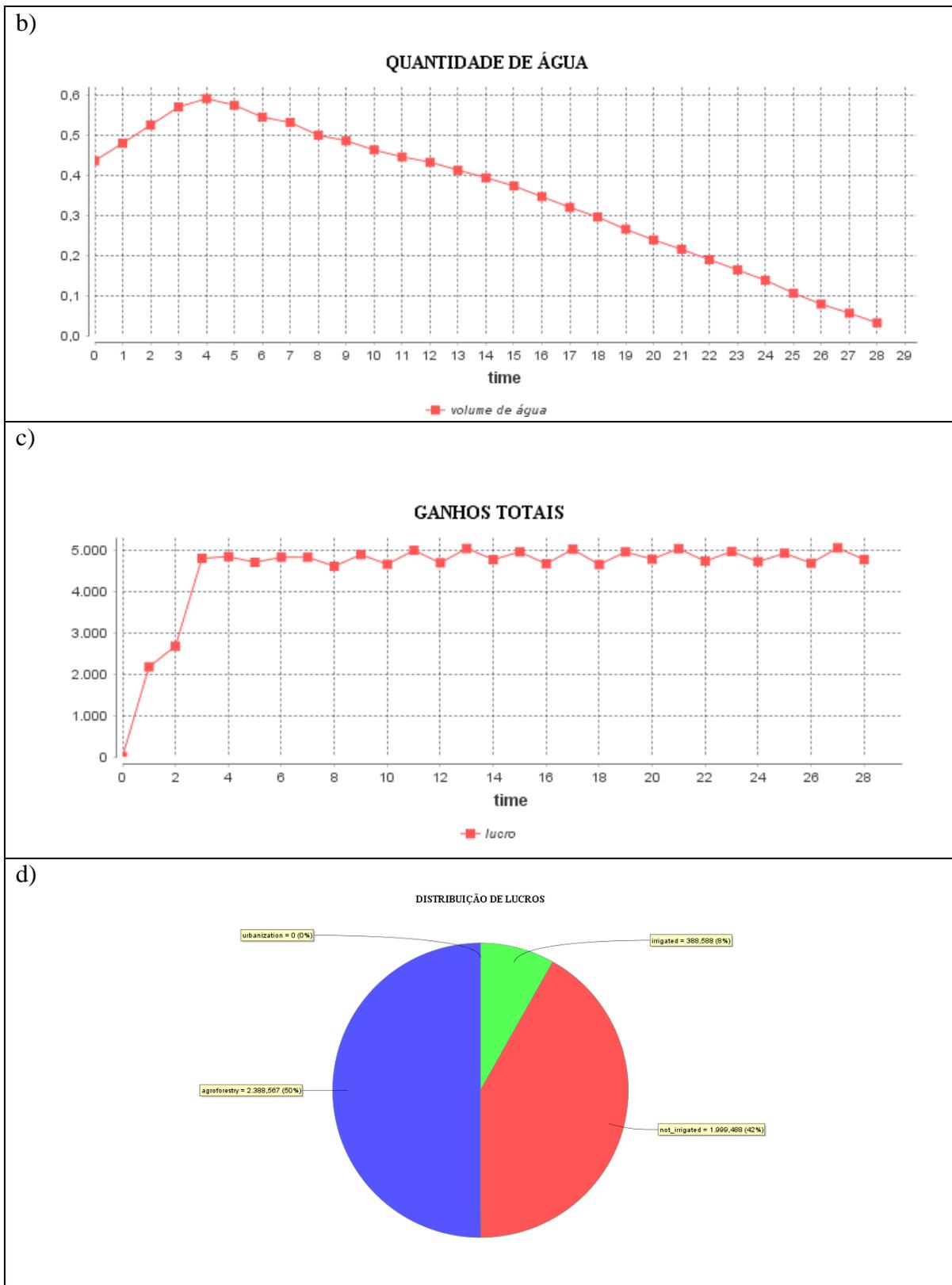


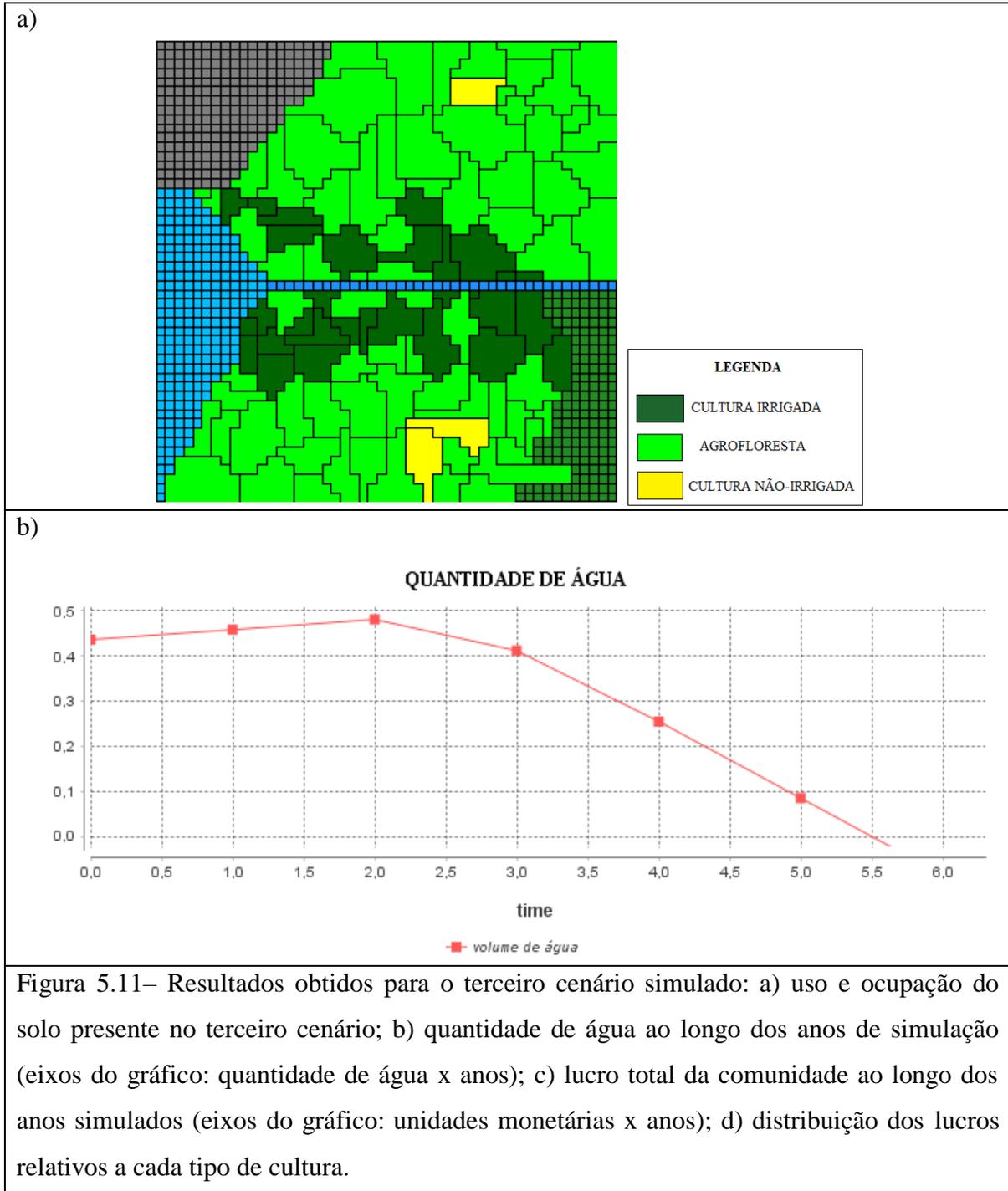
Figura 5.10 – Resultados obtidos para o segundo cenário simulado: a) uso e ocupação do solo presente no segundo cenário; b) quantidade de água ao longo dos anos de simulação (eixos do

gráfico: quantidade de água x anos); c) lucro total da comunidade ao longo dos anos simulados (eixos do gráfico: unidades monetárias x anos); d) distribuição dos lucros relativos a cada tipo de cultura.

Nota-se que nesse cenário a quantidade de cultura não irrigável cresceu consideravelmente e a cultura irrigável decresceu. Sendo assim, somente 8% do lucro total foram gerados pela cultura irrigável. Se comparado ao cenário anterior houve uma redução de 32% na parcela de lucro gerada pelo “maracujá”. Como consequência dessa redução, os ganhos totais monetários da comunidade diminuíram se comparado ao primeiro cenário, tendo uma redução de 45%. Entretanto, mesmo com a redução dos ganhos, a quantidade de água durou mais, chegando à zero somente em 28 anos de simulação. Nesse cenário, a água ficou disponível por mais 22,2 anos. Mesmo os ganhos sendo menores, segundo a simulação, eles duraram por mais tempo.

Essa reposta do modelo aos dois primeiros cenários simulados, onde não há escassez hídrica, pode mostrar a relação entre lucro total gerado e tempo de água disponível. Muitas vezes para faturar uma grande quantidade de recursos financeiros exige uma grande quantidade de recursos naturais e que isso dependeria da escolha feita por eles e elas. O terceiro cenário está relacionado a uma precipitação média e um mercado bom. Os resultados podem ser vistos na Figura 5.11.

TERCEIRO CENÁRIO



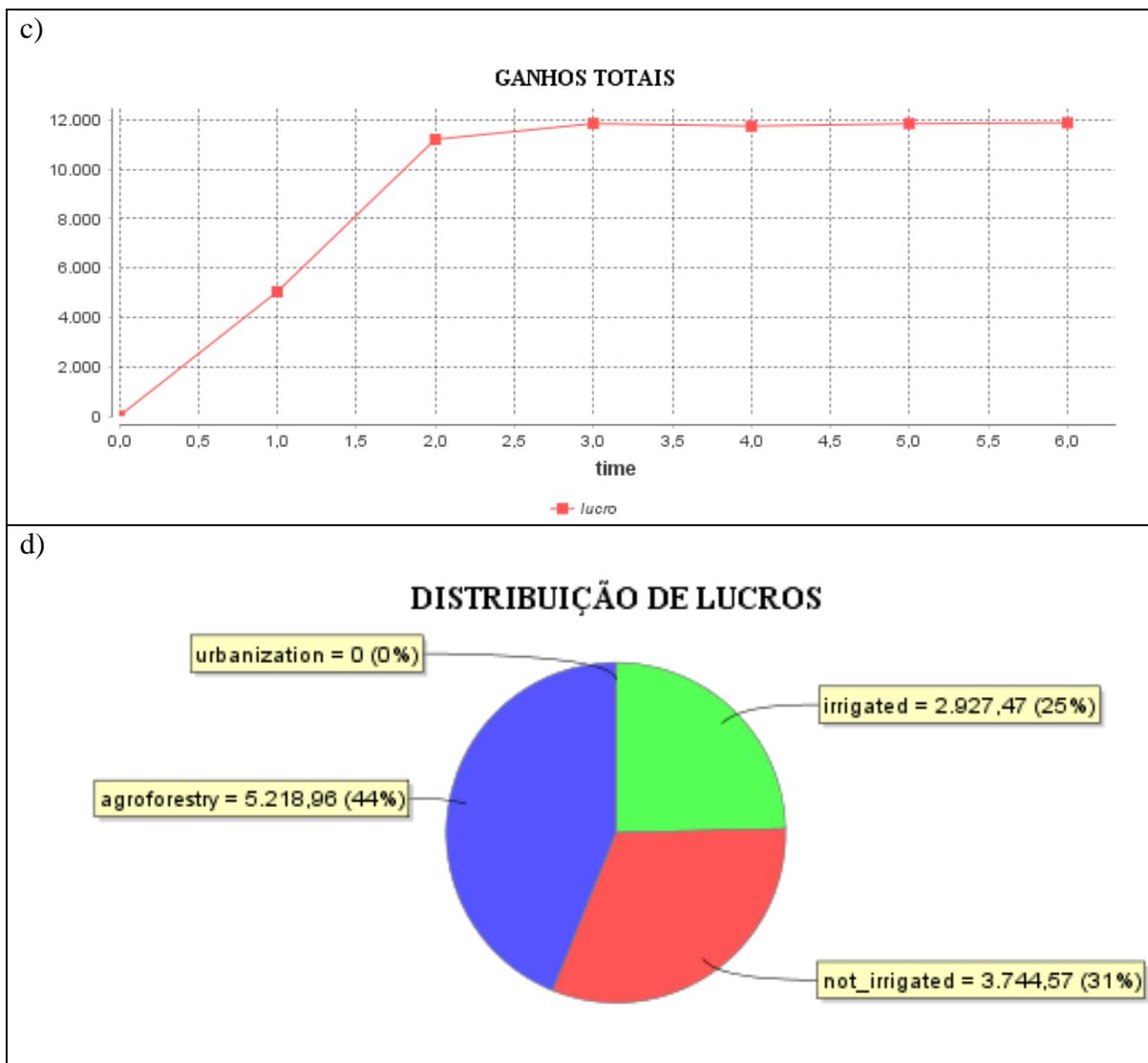
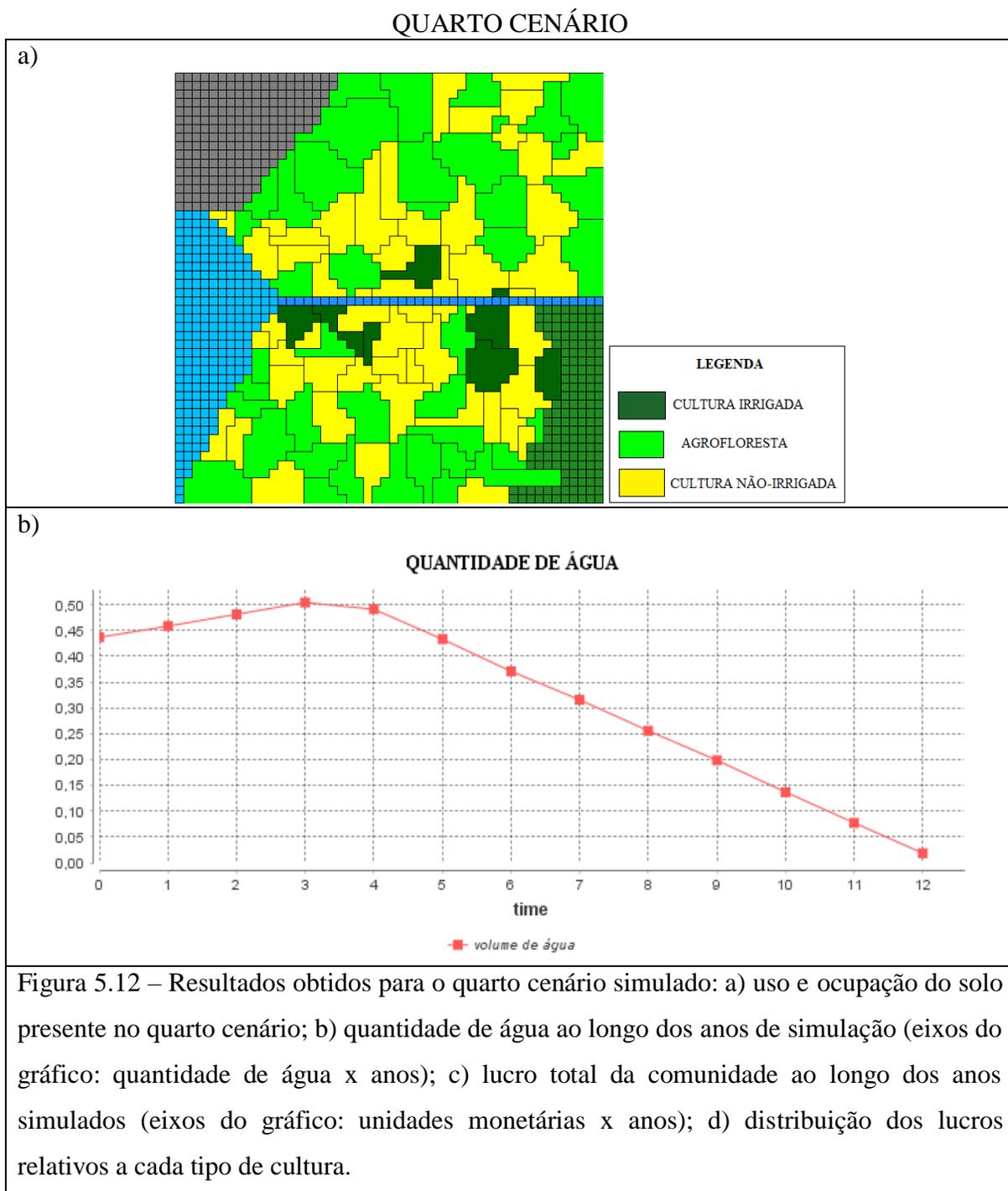


Figura 5.11– Resultados obtidos para o terceiro cenário simulado: a) uso e ocupação do solo presente no terceiro cenário; b) quantidade de água ao longo dos anos de simulação (eixos do gráfico: quantidade de água x anos); c) lucro total da comunidade ao longo dos anos simulados (eixos do gráfico: unidades monetárias x anos); d) distribuição dos lucros relativos a cada tipo de cultura.

É possível notar que não houve uma variação muito expressiva em relação ao primeiro cenário, somente uma pequena redução na quantidade de anos com disponibilidade hídrica, passando de 5,8 anos no primeiro cenário para 5,5 anos no terceiro cenário. No terceiro cenário, também ocorreu um leve aumento no lucro e uma propriedade a mais de milho se comparado ao primeiro cenário. Também houve um decréscimo de 30 propriedades com

cultivo de maracujá no primeiro cenário para 26 propriedades no terceiro cenário, isso pode ser em decorrência da diminuição da precipitação. Já o quarto cenário está relacionado com um ano climático médio e um mercado ruim. O resultado desse cenário pode ser visualizado na Figura 5.12.



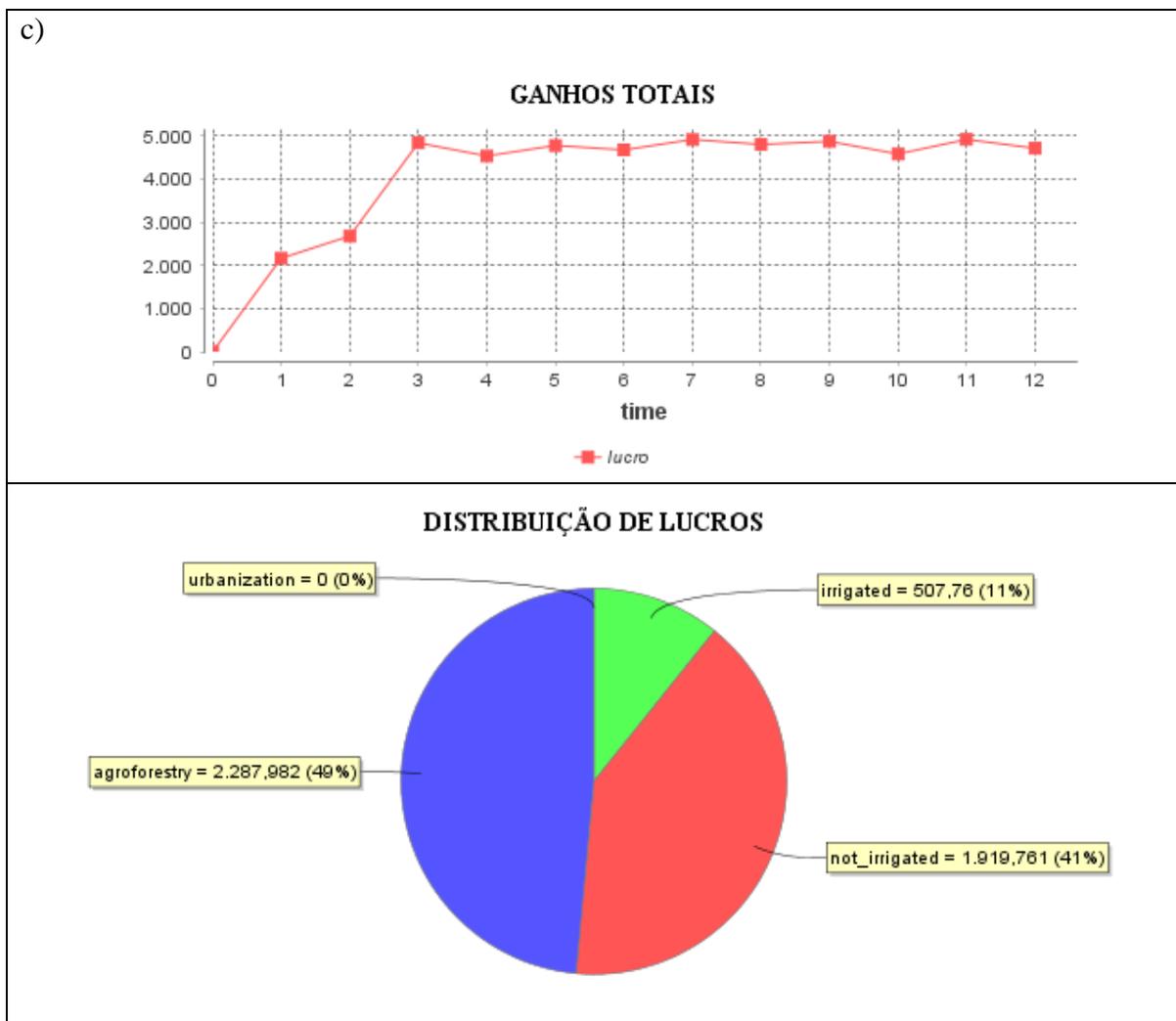
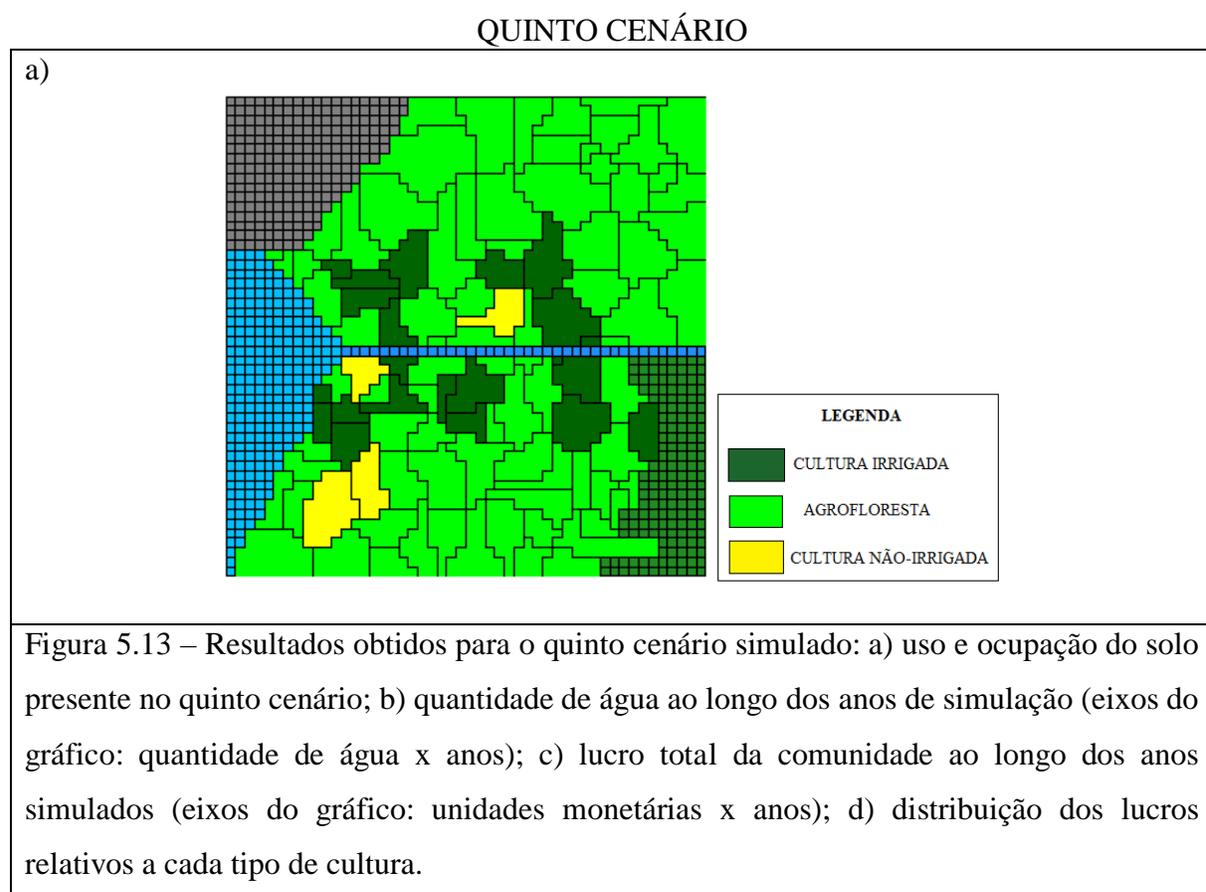


Figura 5.12 – Resultados obtidos para o quarto cenário simulado: a) uso e ocupação do solo presente no quarto cenário; b) quantidade de água ao longo dos anos de simulação (eixos do gráfico: quantidade de água x anos); c) lucro total da comunidade ao longo dos anos simulados (eixos do gráfico: unidades monetárias x anos); d) distribuição dos lucros relativos a cada tipo de cultura.

Como o esperado, o quarto cenário apresentou uma semelhança com o segundo cenário. A configuração de escolha do uso e ocupação da terra foi parecida com a escolha do segundo cenário, tendo como predominância sistemas agroflorestais seguido por roça de milho. Em ambos os resultados pode-se fazer uma analogia com o jogo, onde a predominância pelo uso e ocupação do solo são SAFs seguidos de roça de milho.

Apesar da similaridade do uso e ocupação do solo entre os dois cenários, no quarto cenário a quantidade de água média no sistema chega à zero em 12 anos de simulação, já no segundo cenário chega em 28 anos. Comparando esses anos mencionados, é possível mostrar para a comunidade local que mesmo com uma configuração de uso e ocupação do solo parecida, um período climático mais seco pode impactar de forma negativa a disponibilidade de água ao longo do tempo se os padrões de consumo se mantiverem os mesmos. Gerando uma diferença de 16 anos sem água. Vale ressaltar que o modelo não considera fatores infraestruturais de gestão da água, mesmo assim, uma gestão em microescala pode gerar fatores emergentes que colaboram para a prevenção de crises hídricas.

O quinto cenário traz uma abordagem voltada à baixa disponibilidade hídrica e um mercado de característica boa. Os resultados são mostrados na Figura 5.13.



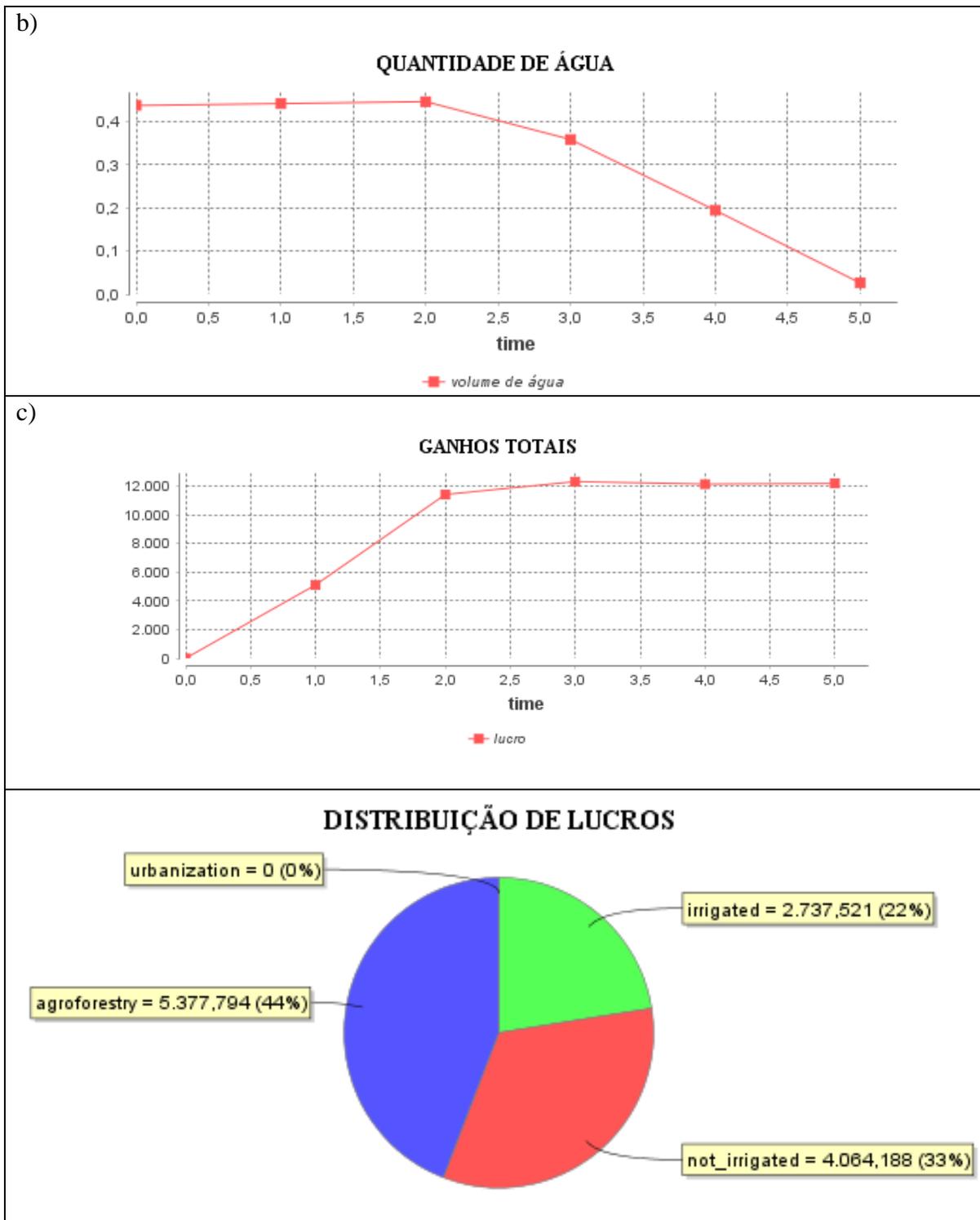
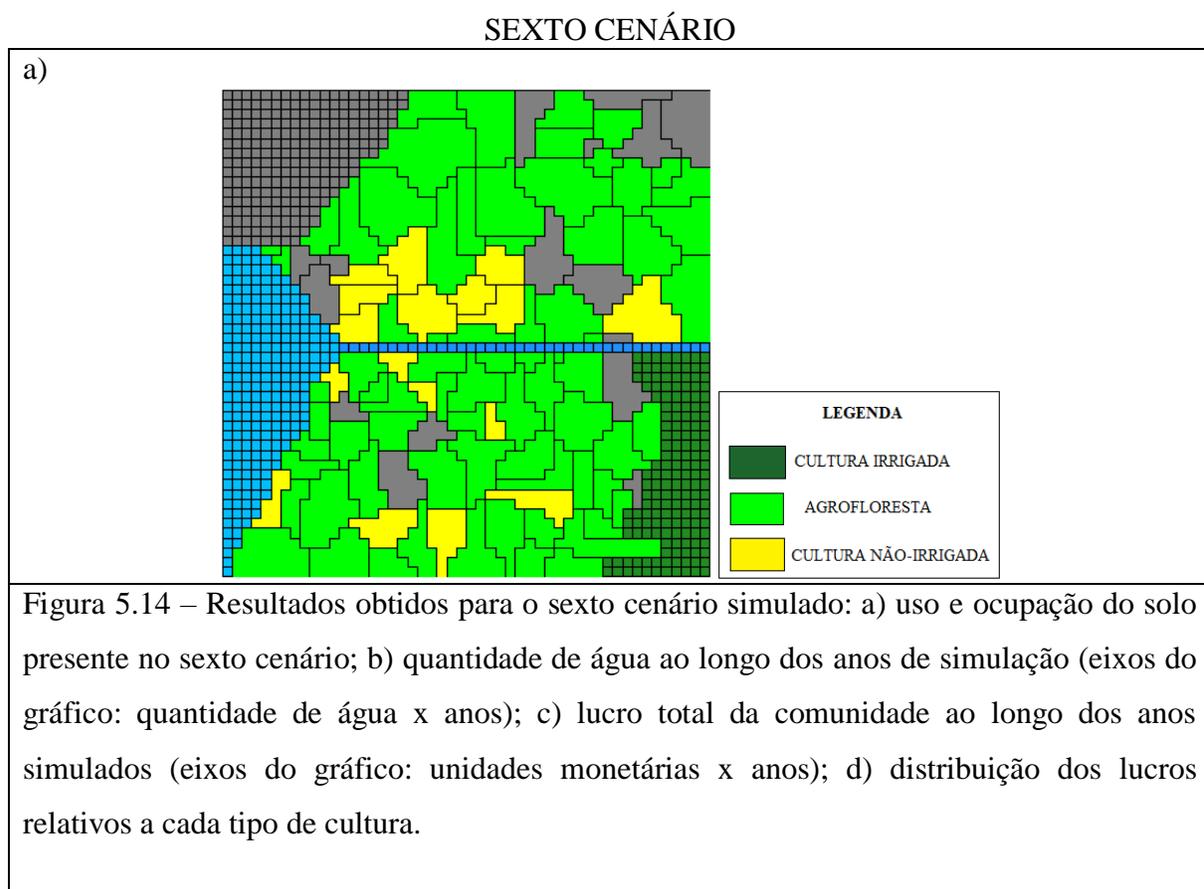


Figura 5.13 – Resultados obtidos para o quinto cenário simulado: a) uso e ocupação do solo presente no quinto cenário; b) quantidade de água ao longo dos anos de simulação (eixos do gráfico: quantidade de água x anos); c) lucro total da comunidade ao longo dos anos simulados

(eixos do gráfico: unidades monetárias x anos); d) distribuição dos lucros relativos a cada tipo de cultura.

O quinto cenário se assemelhou ao primeiro e ao terceiro cenário, sendo que a quantidade de anos com água disponível teve uma leve retração chegando à zero em aproximadamente 5,0 anos de simulação. Além disso, a quantidade de culturas irrigáveis, ou seja, de maracujá, foi inferior à observada no primeiro e terceiro cenário, chegando a um número de 19 propriedades como mostra a primeira imagem da Figura 5.13.

O sexto cenário traz uma abordagem voltada à baixa disponibilidade hídrica e um mercado de característica ruim. Os resultados são mostrados na Figura 5.14.



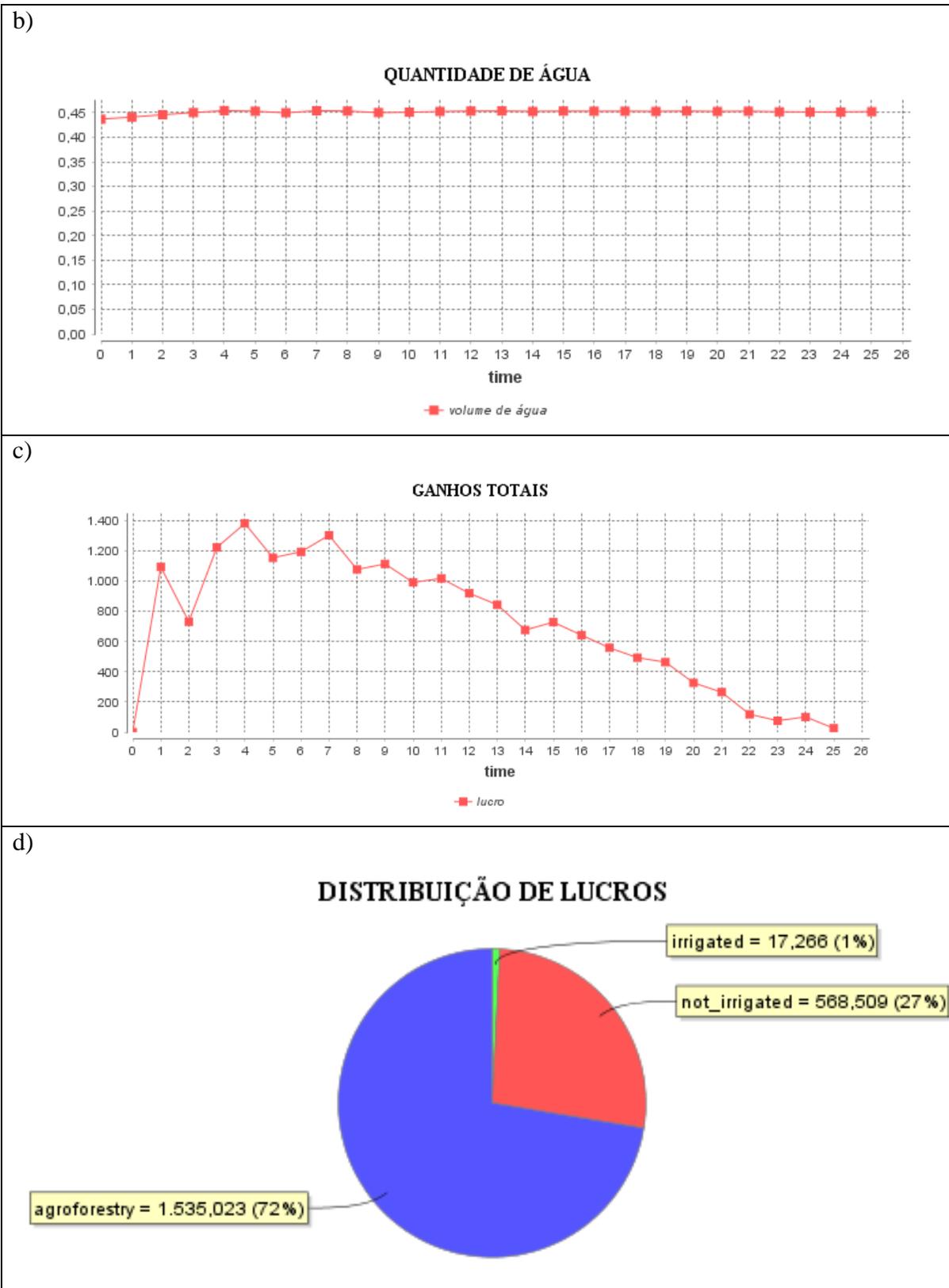


Figura 5.14 – Resultados obtidos para o sexto cenário simulado: a) uso e ocupação do solo presente no sexto cenário; b) quantidade de água ao longo dos anos de simulação (eixos do

gráfico: quantidade de água x anos); c) lucro total da comunidade ao longo dos anos simulados (eixos do gráfico: unidades monetárias x anos); d) distribuição dos lucros relativos a cada tipo de cultura.

Um dos cenários mais diferentes foi o sexto cenário, pois nele, além de se diferenciar em relação à tendência do segundo e quarto cenário, apresentou propriedades urbanizadas e a falta de propriedades irrigáveis, maracujá. Esse resultado mostra a realidade local que quando apresenta, segundo os jogadores, baixa disponibilidade hídrica e pouco lucro acaba cedendo à pressão da especulação imobiliária.

É possível notar que o nível de água se manteve constante já que não havia a presença de propriedades de maracujá e o que chegou primeiro a zero foi o lucro total da comunidade. Pode-se reparar que a participação dos ganhos da cultura irrigável foi de apenas 1%. Esse cenário se torna interessantes primeiro, pois se assemelha a realidade vivenciada na localidade do assentamento e segundo para mostrar para a comunidade local, que fatores como a baixa precipitação e a dependência do mercado são fatores significativos para a obtenção de lucro total.

De um modo geral todas as simulações mostraram que a dependência do mercado é muito alta e sua variação pode mudar significativamente a conjuntura da arrecadação de lucros, mas ao mesmo tempo uma grande demanda de água impacta de forma negativa a média hídrica da comunidade e exauri rapidamente esse recurso. Sem água e um mercado em queda pode trazer danos muitas vezes irreversíveis para a região como a urbanização, caracterizando um processo emergente presente nesse sistema (Figura 5.14).

Outro fator importante percebido por meio das simulações foi à semelhança a qual o modelo respondeu se comparado ao jogo de representação de papéis, ou seja, os resultados obtidos nos modelos responderam de forma semelhante aos resultados obtidos por meio das sessões dos jogos. O que mostra uma boa relação entre o jogo de representações de papéis e o modelo baseado em agentes desenvolvido. Sendo assim, o próximo Capítulo dessa dissertação será voltado à conclusão e recomendações baseadas nos resultados e em suas discussões.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Pode-se concluir que o jogo de representação de papéis aplicado no assentamento Canaã, o WaDiGa, conseguiu cumprir sua função de plataforma de diálogo e discussão entre os moradores sobre a temática gestão de recursos hídricos.

É possível obter essas conclusões, pois na primeira sessão do jogo foi perceptível o interesse dos jogadores pela ferramenta e a noção de que ela pode trazer benefícios para a comunidade local. Além disso, segundo os participantes, houve uma identificação de comportamento semelhante ao presente na vida real, mostrando assim que o jogo teria potencial para identificar os comportamentos da comunidade local e favorecer uma maior comunicação entre eles. Sendo assim, o jogo de representação de papéis se mostrou uma possível plataforma de diálogo e empoderamento social. Entretanto, somente com os resultados obtidos nesse estudo não se pode afirmar sua eficiência como uma ferramenta de educação ambiental devido à falta de formas avaliativas.

O jogo de representação de papéis se mostrou uma ferramenta eficiente para identificar os comportamentos dos agentes em relação à gestão de recursos hídricos local, pois conseguiu mapear de forma singular alguns traços importantes na tomada de decisão dos seus participantes. Entre eles está a relevância da agrofloresta para a comunidade local, a influência de fatores econômicos na hora de tomar uma decisão e a falta de uma gestão colaborativa presente no assentamento, servindo para o mapeamento do comportamento dos atores.

Foi possível embasar de forma mais afirmativa o modelo conceitual idealizado antes das dinâmicas realizadas, ou seja, foi possível por meio do jogo endossar que o modelo conceitual desenvolvido apresentava uma semelhança com os processos presentes no assentamento Canaã.

O modelo baseado em agentes conseguiu de forma satisfatória representar a relação da produção da comunidade agrícola do assentamento Canaã com a utilização dos recursos hídricos locais, apresentando semelhança aos resultados obtidos no jogo WaDiGa. Com o

modelo, foi possível gerar vários cenários que se mostraram eficientes na representação das tomadas de decisão dos agentes. Foi possível mostrar os diversos cenários à comunidade local e os impactos ocasionados nos recursos hídricos da região devido sua tomada de decisão. No quesito quantitativo, as culturas irrigáveis se sobressaíram em períodos caracterizados por alta no mercado, extinguindo de forma rápida a quantidade de água presente no sistema. Outro resultado notório foi a urbanização presente no sexto cenário, o qual apresentava baixos níveis de precipitação e um mercado ruim.

Pode-se concluir também que houve uma boa articulação entre as duas plataformas, GAMA e WaDiGa. O WaDiGa proporcionou uma boa parametrização do modelo implementado no GAMA e o GAMA, por sua vez, representou de forma satisfatória os resultados obtidos no WaDiGa.

SUGESTÕES RECOMENDAÇÕES

Apesar dos bons resultados obtidos pela metodologia proposta, seria necessário um maior número de dinâmicas junto à comunidade do assentamento Canaã para o desenvolvimento de uma modelagem de acompanhamento e a promoção de uma gestão colaborativa local. Nesse sentido recomenda-se que mais sessões do jogo WaDiGa sejam elaboradas no futuro e um modelo hidrológico mais robusto seja acoplado ao modelo baseado em agentes.

Além disso, o modelo apresenta algumas limitações, tais como a não representação quantitativa da quantidade de água presente no sistema e os lucros obtidos pela população local. Nesse sentido, o modelo serve como uma base para a análise qualitativa dos aspectos presentes na região. O modelo também não poderia ser utilizado para projeções precisas no sentido quantitativo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Adamatti, D., Sichman, J., Rabak, C., Bommel, P., Ducrot, R., Camargo, M. (2005). *JogoMan: A Prototype Using Multi-Agent-Based Simulation and Role-Playing Games in Water Management*. In: Conference on Multi-agent modelling for environmental management, Bourg Saint Maurice - Les Arcs, France, 1, 18.
- Adamatti, D., Sichman, J., Coelho, H. (2007). *Using RPG and MABS to develop Group Decision Support Systems*. In: Scientia, 18(2), 69-78.
- Adasa, Agência Reguladora de Água, Esgoto e Saneamento Básico do DF (2012). PGIRH - Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (Vol. I).
- Akhbari, M., Grigg, N. (2013). *A Framework for an Agent-Based Model to Manage Water Resources Conflicts*. In: Water Resources Management, 27(11), 4039–4052.
- Alvares, L.O. Sichman, J. (1997). Introdução aos Sistemas Multiagentes. *Jornada de Atualização em Informática*, 16; Congresso da SBC, 17. Brasília. Anais. Brasília: SBC p.1-38.
- ANA, Agência Nacional de Águas (2019). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, Hidroweb. Brasil, 10 de dezembro de 2019. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 22 de dezembro de 2019.
- ANA - Agência Nacional de Águas - Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. (2015). —Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2014 - Encarte Especial sobre a Crise Hídrica, 30.
- Barreteau, O., Bousquet, F., Attonaty, J. (2001). *Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: method and lessons of its application to Senegal River Valley irrigated systems*. In: Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 4, 2.
- Barreteau, O., Garin, P., Dumontier, A., Abrami, G., Cernesson, F. (2003). *Agent-based facilitation of water allocation: case study in the Drome River Valley*. In: Group Decision and Negotiation, 12 (5), 441–461.
- Barreteau, O., Bousquet, F., Millier, C., Weber, J. (2004). *Suitability of multi-agent simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley*. Agricultural Systems, 80(3), 255–275.
- Barreteau O, Bousquet F, Étienne M, Souchère V, d’Aquino P. 2014. *Companion modelling: a method of adaptive and participatory research*. Companion Modell. 13–40. Springer.
- Basco-Carrera, L., Meijers, E., Sarısoy, H. D., Şanlı, N. O., Coşkun, S., Oliemans, W., van Beek, E.,

- Karaaslan, Y., Jonoski, A. (2018). *An adapted companion modelling approach for enhancing multi-stakeholder cooperation in complex river basins*. In: *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 25(8), 747-764.
- Becu, N., Perez, P., Walker, A., Barreteau, O. (2001). *CatchScape: an integrated multi-agent model for simulating water management at catchment scale: a Northern Thailand case study*. In MODSIM 2001, International Congress on Modelling and Simulation, Canberra, 10–13 December.
- Berglund, E. Z. (2015). “Using Agent-Based Modeling for Water Resources Planning and Management.” In: *Journal of Water and Resources Planning Management*, 141(11), 1–17.
- Boccaro, N. (2004). *Modeling Complex Systems*. Springer Verlag New York Inc, USA.
- Boisseau, S. (2005). *Co-evolution of a research question and methodological development: an example of companion modeling in northern Vietnam*. In: Bousquet F, Trébuil G, Hardy B (editors). *Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia*. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, 360.
- Bommel, P., Bécu, N., Le Page, C., Bousquet, F. (2015). *Cormas, an Agent-Based simulation platform for coupling human decisions with computerized dynamics*. In: *Simulation and Gaming in the Network Society*. Springer Singapore, 9, 387-410.
- Bonabeau, E. (2002). *Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems*. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(3), 7280-7287.
- Bourgais, M., Taillandier, P., Vercoüter, L. (2017). *Enhancing the behavior of agents in social simulations with emotions and social relations*. In: *The 18th Workshop on Multi-agent based Simulation-MABS*.
- Bousquet, F., Barreteau, O., Le Page, C., Mullon, C., Weber, J. (1999). *An environmental modelling approach: the use of multi-agent simulations*. In: *Advances in Environmental Ecological Modelling*. 113-122.
- Bousquet, F., Trébuil, G. (2005). *Introduction to companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia*. In: *Companion modeling and multi-Agent systems for integrated natural resource management in Asia*. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1–20.
- Bratman, M. (1987). *Intentions, Plans, and Practical Reason*. Vol. 10, Center for the Study of Language and Information, Harvard University Press, USA..
- Braden, J., Brown, D., Dozier, J., Gober, P., Hughes, S., Maidment, D., Schneider, S., Schultz, W., Shortle, J., Swallow, S., Werner, C. (2009). *Social science in a water observing system*. In: *Water Resources Research*, 45(11), 1-11.

- Brasil, Ministério do Meio Ambiente (2014). *Plano de Manejo da APA Bacia do Rio Descoberto*. Brasília, Brasil.
- Brill, E. D. (1979). *The use of optimization models in public-sector planning*. In: Management Science, 25(5), 413–422.
- Bueno, P. (2016). “Desenvolvimento De Procedimento Para Identificação De Áreas Prioritárias Para O Manejo Das Águas Pluviais a Partir Da Identificação De Áreas Hidrologicamente Sensíveis: Aplicação Ao Caso Da Bacia Do Alto Descoberto – DF/GO.”
- CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2014). —SIÁGUA - Sinopse do Abastecimento de Água do Distrito Federal.
- Caillou, P., Gaudou, B., Grignard, A., Truong, C.Q., Taillandier, P. (2017). *A simple-to-use BDI architecture for agent-based modeling and simulation*. In: Advances in Social Simulation 2015, Springer, 15–28.
- Castella, J. C., Trung, T. N., Boissau, S. (2005). *Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: the combined use of an agent-based model, a role-playing game, and a geographic information system*. In: Ecology and Society. 10(1), 27.
- Clavel L, Ducrot R, Sendacz S. 2008. Gaming with eutrophication: contribution to integrating water quantity and quality management at catchment level. IWRA, 13ème congrès mondial de l'eau; Montpellier. 2008(1-4).
- Collins K, Ison R. 2009. *Jumping off Arnstein's ladder: social learning as a new policy paradigm for climate change adaptation*. In: Environmental Policy Government. 19(6), 358–373.
- Costa, G. (2011). “As Regiões Administrativas do Distrito Federal de 1960 a 2011,” 705.
- CSA BRASIL (2019). Disponível em: <<http://www.csabrasil.org/csa/>>. Acesso em 14 de agosto de 2019.
- Daré, W., Ducrot, R., Botta, A., Etienne, M. (2009). *Repères méthodologiques pour la mise en oeuvre d'une démarche de modélisation d'accompagnement*. 126.
- Dawkins, R. (1987). *The Blind Watchmaker: Why the evidence of evolution reveals a universe without design*. W. W. Norton & Company Inc., New York, USA. Reprinted edition 1996.
- Doran, J. E. (1997) Foreknowledge in artificial societies. In R. Conte, R. Hegselmann and P. Terna (eds), *Simulating Social Phenomena*, pp. 457–470. Springer-Verlag, Berlin.
- Ducrot, R., Chagas, Y., Jacobi, P., Clavel, L., Barban, V., Madazio, V., Rabak, C., Reydon, B., Bussmeyer, F., Ramos, H. (2007). *Building capacities to tackle the infrastructural and environmental crisis in São Paulo: role-playing games for participatory modelling*. In: Peri-urban water conflicts—supporting dialogue and negotiation (Technical Paper Series, 50). Delft: IRC International Water and Sanitation Centre, 77-112.

- Eden, C., Ackermann, F., (2013). *Making strategy: the journey of strategic management*. Great Britain, Sage
- EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. (2019). *Custos de produção*. Disponível em < <http://www.emater.df.gov.br/custos-de-producao/>>. Acesso em: 22 de março de 2019.
- Epstein, J., Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies. social science from the bottom up*. Brookings Institution Press, Cambridge, Massachusetts, USA: The MIT Press.
- Étienne, M. (2013). *Companion modelling: a participatory approach to support sustainable development*. Springer Science and Business Media, Netherlands.
- Evers, M., Jonoski, A., Maksimovič, Lange, L., Ochoa, Rodriguez, S., Teklesadik, A., Cortes, J., Almoradie, A., Simões, E., Wang, L. (2012). *Collaborative modelling for active involvement of stakeholders in urban flood risk management*. Natural Hazards Earth System Science, 12 (9), 2821–2842.
- Farolfi, S., Müller, P., Bonté, B. (2010). *An iterative construction of multi-agent models to represent water supply and demand dynamics at the catchment level*. In: Environmental Modelling Software, 25(10), 1130–1148.
- Faysse, N., Bustamante, R., Del Prado, A.D.N., Cuba, P., Alcoba, R.G.A., Rojas, V.C., Terrazas JAI, Lizárraga A, Paz Betancourt B, Caprirolo RGP, et al. (2007). *Supporting local organizations in peri-urban Cochabamba, Bolivia*. In: Butterworth J, Ducrot R, Faysse N, and Janakarajan S (editors). Peri-Urban Water Conflicts: Supporting dialogue and negotiation. Delft, the Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre (Technical Paper Series; no 50), 128.
- Ferber, J. (1999). *Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence*. Harlow: Addison-Wesley Longman.
- Fischer, J. M., Amekudzi, A. (2011). *Quality of life, sustainable civil infrastructure, and sustainable development: Strategically expanding choice*. Journal Urban Planning and Development, 39–48.
- Fuchs, A. (2013). *Nonlinear Dynamics in Complex System: Theory and Applications for the Life, Neuro, and Natural Sciences*. Springer-Verlag, Berlin.
- Gell-Mann, M., & Lloyd, S. (1996). “Information measures, effective complexity, and total information.” In: *Complexity*, 2(1), 44–52.
- Gilbert, N., Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. 2ed. Buckingham and Philadelphia: Open University Press.
- Google Earth (2019). Disponível em < <https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 02 de março de 2019.

- Governo do Distrito Federal (GDF), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, COMPARQUES (2006). *Atlas Ambiental - Distrito Federal*. Brasília, Brasil.
- Governo do Distrito Federal (GDF), Companhia de Planejamento do Distrito Federal (2011). *Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios*. Brasília, Brasil.
- Governo do Distrito Federal (GDF) (2017a). “Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal - Caderno Técnico Pré-Zoneamento.” *Alternativas Locacionais para Empreendimentos Produtivos no DF*, 1–73.
- Governo do Distrito Federal – GDF. (2017b). *Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica – PIECH*, 1–67.
- Governo do Distrito Federal (GDF), CEASA - Centrais de Abastecimento do Distrito Federal. (2019). Brasília, Brasil. Disponível em <<http://www.ceasa.df.gov.br/atacado/>>. Acesso em: 25 de março de 2019.
- Grignard, A., Taillandier, P., Gaudou, B., Vo, D. A., Huynh, N. Q., Drogoul, A. (2013). *GAMA 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation*. In: International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems, Springer, 117–131.
- Grimm, V. (1999). *Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and could we learned in the future?* In: *Ecological Modelling*, 115, 129–148.
- Grimm, V., Railsback, S.F., (2005). *Individual-Based Modeling and Ecology*, Princeton University Press, Princeton, 448.
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S., Huse, G., Huth, A., Jepsen, J., Jørgensen, C., Mooij, W., Muller, B., Pe'er, G., Piou, C., Railsback, S., Robbins, A., Robbins, M., Rossmanith, E., Ruger, N., Strand, E., Souissi, S., Stillman, R., Vabø, R., Visser, U., DeAngelis, D. (2006). *A standard protocol for describing individual-based and agent-based models*. In: *Ecological Modelling*, 198(1–2), 115-126.
- Haken, H. (1978) *Synergetics: An Introduction*, Springer Series in Synergetics, vol. 1. 2nd enlarged edn. Springer-Verlag, Berlin.
- Hare, M., Letcher, R., Jakeman, A. (2003). *Participatory modelling in natural resource management: a comparison of four case studies*. In: *Integrated Assessment*. 4(2):62–72.
- Hoffmann, M. R. (2005). *Sistema Agroflorestral Sucessional – Implantação mecanizada. Um estudo de caso*. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 59.
- Holland, J. (1995). *Hidden order: How adaptation builds complexity*, Perseus Books, Reading, MA.
- Huhns, M. and Singh, M. P. (1998) *Readings in Agents*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

- Hwang, C. L., Masud, A. (1979). *Multiple objective decision making —Methods and applications: A state-of-the-art survey*. In: Lecture notes in economics and mathematical systems, Beckmann, M. and Kunzi, H., eds., 164, Springer, New York.
- Janssen M. (2002). *Complexity and ecosystem management: the theory and practice of multi-agent systems*. UK: Edward Elgar Publishing.
- Instituto Agrônômico de Pernambuco, IPA (2008). Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Estado de Pernambuco. *Irrigação*. In: Publicações - Folhetos Explicativos. Pernambuco, Brasil. Disponível em: < <http://www.ipa.br/resp28.php>>. Acesso em: 18 de novembro de 2019.
- Le Page, C., Bousquet, F. (2007). *The Cormas platform. Tutorial*. In: ESSA 2017 – VI Conférence de l’Association Européenne de Simulation Sociale. Toulouse, France, 10-14 septembre 2007.
- Macal, C. M., North, M. J. (2011). *Introductory Tutorial: Agent-Based Modeling and Simulation*. In: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, Phoenix, USA, 1451-1464.
- Macal, C. M., North, M. J. (2014). *Introductory Tutorial: Agent-Based Modeling and Simulation*. In: Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, Savannah, USA, 6-20.
- Marietto, M. G. B., David, N., Sichman, J. S., Coelho, H. (2002). “*Requirements Analysis of Multi-Agent-Based Simulation Platforms: State of the Art and New Prospects*”. Sichman, J. S.; Bousquet, F. and Davidsson, P. Editors. Proc. Third International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation (MABS), Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag.
- Maurel, P., Flavie, C., Ferrand, N., Marc, C., Valkering, P. (2004) *Some Methodological Concepts to Analyse the Role of IC-tools in Social Learning Processes*. In: 2nd International Congress on Environmental Modelling and Software, Osnabrück, Germany.
- Miller, J., and Page, S. (2007). *Complex adaptive systems: An introduction to computational models of social life*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Michalski, R., Carbonell, J. and Mitchell, T. M. (1983). *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. Tioga, Palo Alto, CA.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*, Oxford University Press, Oxford, U.K.
- Moss, S., Downing, T. E., Rouchier J. (2001). *Demonstrating the role of stakeholder participation: an agent-based social simulation model of water demand policy and response*. Centre For Policy Modelling, Manchester Metropolitan University. (CPM Report No. 00–76).
- MST – Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (2014). *Plano de Desenvolvimento Sustentável do Assentamento Canaã*. Brasília, Brasil.
- Niazi, M., Hussain, A. (2011). *Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: A visual survey*. In: Scientometrics, 89(2), 479–499.

- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., Deadman, P. (2003). *Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review*, In: Ann. Assoc. Am. Geogr., 93, 314–337.
- Railsback, S.F. (2001). *Concepts from complex adaptive systems as a framework for individual-based modelling*. In: Ecological Modelling, 139(1), 47–62.
- Ramanath, A. M., Gilbert, N. (2004). *Techniques for the construction and evaluation of participatory simulations*. In: Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 7(4).
- Refsgaard, J., van der Sluijs, J., Hojberg, A., and Vanrolleghem, P. (2007). *Uncertainty in the environmental modelling process—A framework and guidance*. In: Environmental Modeling. Software, 22(11), 1543–1556.
- Ruankaew, N., Le Page, C., Dumrongrojwattana, P., Barnaud, C., Gajaseni, N., van Paassen, A., Trébuil G. (2010). *Companion modelling for integrated renewable resource management: a new collaborative approach to create common values for sustainable development*. In: International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 17(1), 15–23.
- Taillandier, P., Gaudou, B., Grignard, A., Huynh, Q., Marilleau, N., Caillou, P., Philippon, D., Drogoul, A. (2017). *Documentation: Learn GAML Step by Step*. 450.
- Taillandier, P., Gaudou, B., Grignard, A., Huynh, Q., Marilleau, N., Caillou, P., Philippon, D., Drogoul, A. (2018). *Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform*. In: GeoInformatica, 23(2), 299–322.
- Thoyer, S., Moradet, S., Rio, P., Simon, L., Goodhue, R., Rausser, G. (2001). *A bargaining model to simulate negotiations between water users*. In: Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 4(2).
- Tisue, S., Wilensky, U. (2004). *NetLogo: Design and implementation of a multi-agent modeling environment*. In: Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence, Chicago, Illinois.
- Trébuil, G., Le Page, C., Garcia, C. *Présentation du jeu de rôles WaDiGa et de son modèle conceptuel sous-jacent*. Montpellier: CIRAD-ES, 8. 2017.
- Vital, M. (2007). *Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto*. In: Revista do BNDS. 14 (28), 235-276.
- Voinov, A., Bousquet, F. (2010). *Modelling with stakeholders*. In: Environmental Modelling and Software. 25(11), 1268–1281.
- Zilberman, I. (1997). *Introdução à engenharia ambiental*. In: Canoas, (ed) ULBRA, Brasil.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems*, Departamento de Ciências da Computação, Universidade de Liverpool, Inglaterra.

Wooldridge, M., Jennings, N. R. (1995) *Intelligent agents: theory and practice*. In: Knowledge Engineering Review, 10, 115–152.

APÊNDICE

APÊNDICE A – PROTOCOLO ODD

PROTOCOLO ODD

Propósito

O objetivo da aplicação do modelo foi entender como o comportamento social em relação à gestão de recursos hídricos – alocação de água para a irrigação, compartilhamento de água e pressão social – pode influenciar sobre o uso e ocupação do solo na região estudada, a produção da comunidade agrícola e a quantidade de água disponível, além de servir como uma possível ferramenta de educação/empoderamento social para a comunidade local estudada.

Entidades, variáveis de estado e escala

O modelo compreende quatro níveis hierárquicos: individual, propriedade, (meta) população e ambiente. Os indivíduos representam os agricultores e são caracterizados pelas variáveis de estado: sua propriedade, custos familiares e dinheiro disponível. As propriedades constituem em quatro entidades diferentes: agrícola irrigado, agrícola não-irrigado, agrofloresta e pousio, como mostra a Figura 1, que representa o diagrama de classes elaborado na metodologia e foi rerepresentado no protocolo com pequenas modificações.

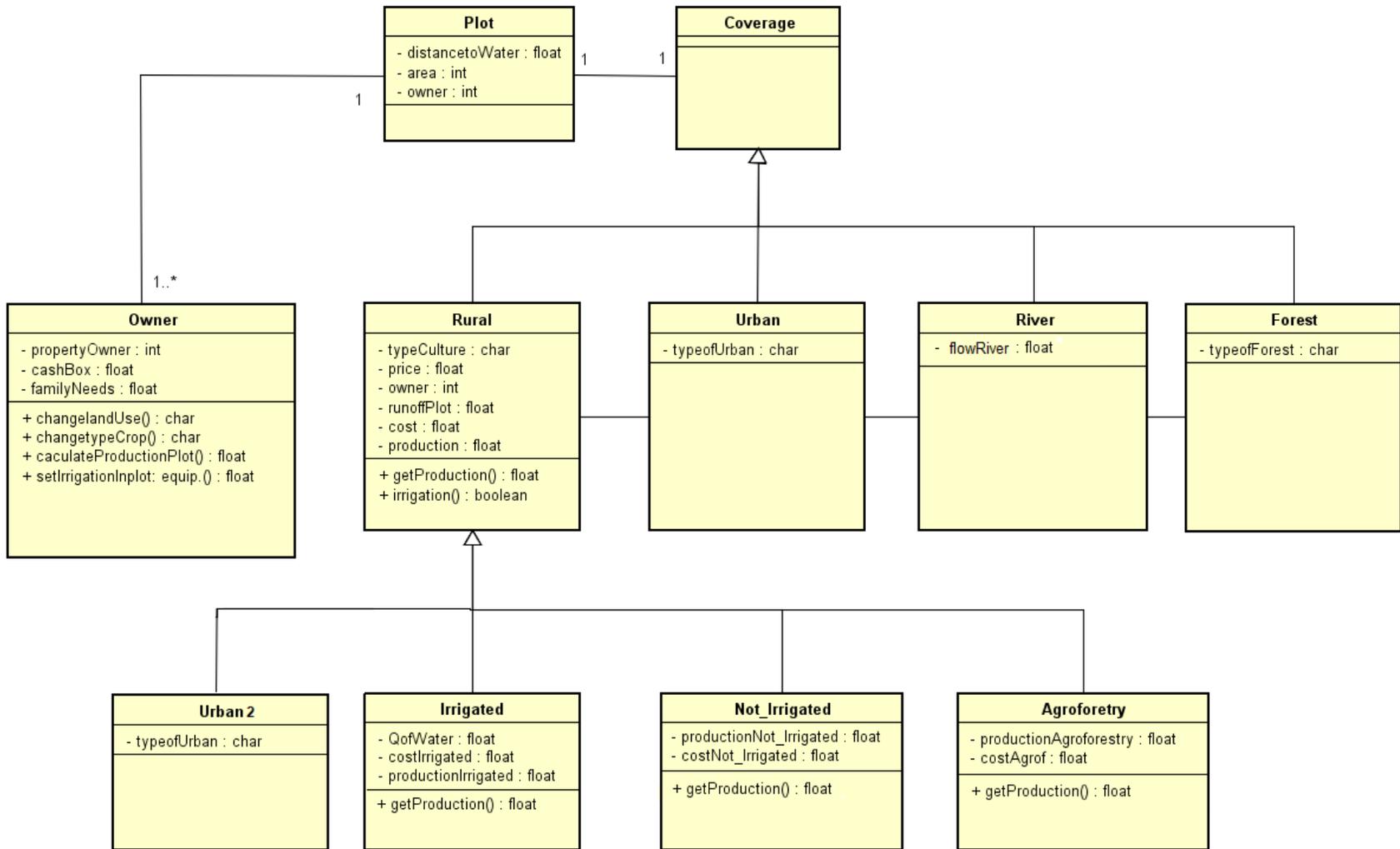


Figura 1 – Diagrama de Classe.

O modelo é composto por uma quantidade de 100 agentes (“*owner*”) representados na figura do agricultor. Esses agentes são caracterizados por suas propriedades, ou seja, há 100 propriedades no modelo que pertencem a respectivamente 100 agentes. Como mostrado no UML (Figura 1), cada plot do modelo tem uma associação com a cobertura e deve apresentar pelo menos um tipo da mesma, dando origem as subclasses que compõem um conjunto de especificação. A cobertura (“*coverage*”) do solo pode ser apresentada por quatro subclasses, entre elas, floresta (“*forest*”), rio (“*river*”) e urbano (“*urban*”), que são imutáveis e rural, subdividida em: irrigado (“*irrigated*”), não-irrigado (“*not_irrigated*”), agroflorestais (“*agroforestry*”) e urbano (“*urban2*”). A descrição de todos os atributos de cada entidade pode ser visualizada, assim como no UML (Figura 1), no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição dos atributos pertencentes a cada classe/subclasse.

Classe/Subclasses	Atributos	Funções do Atributo
“ <i>coverage</i> ” (cobertura)	-	-
“ <i>plot</i> ”	“ <i>distancetoWater</i> ” (Distância da água)	Estabelece a distância entre o plot e o local mais próximo com a presença de água.
	“ <i>area</i> ” (Área)	Define o valor da área do plot que já é pré-estabelecida no montante de 1ha
	“ <i>owner</i> ” (Dono)	Cada plot apresenta uma cobertura de solo e na cobertura rural, exceto pelo urbano2, o plot pertence a um proprietário no qual é definido por esse atributo.
“ <i>owner</i> ” (proprietário)	“ <i>propertyOwner</i> ” (Propriedade)	Define o conjunto de plots que pertence a determinado proprietário.
	“ <i>cashBox</i> ” (Dinheiro disponível)	Determina a quantia de dinheiro disponível para cada proprietário
	“ <i>familyNeeds</i> ” (Gastos familiares)	Determina a quantia de dinheiro a ser paga para suprir os gastos familiares.
“ <i>rural</i> ” (rural)	“ <i>typeCulture</i> ” (Tipo de cultura)	Na classe rural é possível ter mais de um tipo de cultura agrícola, sendo assim, esse atributo define que tipo está presente na cobertura.

	“owner” (Dono)	Define quem é o dono de cada propriedade rural.
	“runoffPlot” (Escoamento do plot)	Quantidade de água escoada da cobertura rural.
	“cost” (custo)	Representa o custo de produção de cada tipo de cultura agrícola.
	“production” (produção)	Representa a renda gerada pela produção de cada tipo de cultura agrícola.
“urban” (Urbano)	“typeofUrban” (Tipo urbano)	Define o tipo de cobertura urbano pré-definido no ambiente do modelo.
“river” (rio)	“flowRiver” (Vazão do Rio)	Estabelece a quantidade de água presente nos espaços com água.
“forest”	“typeofForest” (Tipo floresta)	Define o tipo de cobertura floresta pré-definido no ambiente do modelo.
“urban2”	“typeofUrban” (Tipo urbano)	Define o tipo de cobertura floresta pré-definido no ambiente do modelo.
“irrigated” (irrigado)	“QofWater” (Quantidade de água)	Quantidade de água retirada do corpo hídrico para a realização da irrigação.
	“costIrrigated” (Custo de irrigação)	Custo de implementação da cultura irrigável.
	“productionIrrigated” (Produção da Irrigação)	Ganhos gerados pelo cultivo da cultura irrigável.
“not_irrigated” (não-irrigado)	“costNot_Irrigated” (Custo de não irrigação)	Custo de implementação da cultura não irrigável.
	“productionNot_Irrigated” (Produção de não irrigação)	Ganhos gerados pelo cultivo da cultura não irrigável.
“agroforestry”	“costAgrof” (Custo da agrofloresta)	Custo de implementação para a cultura agroflorestal.
	“productionAgroforestry” (Produção da agrofloresta)	Ganhos gerados pelo cultivo da cultura agroflorestal.

Uma célula da grade representa 1 ha e o ambiente do modelo compreendia 50 × 50 ha; isto é, 2.500 quilômetros quadrados. O ambiente do modelo é composto por todos os elementos supracitados, sendo o rural o único mutável. Caso uma propriedade apresente baixa quantidade de renda e disponibilidade hídrica, a mesma se torna um meio urbano. Todo o fenômeno de escolha e mudança do uso e ocupação do solo acontece no passo de tempo de 1 ano e as

simulações foram executadas até a água acabar ou até a renda total da comunidade ser igual a zero.

Síntese e etapas do processo

O modelo procede em intervalos de tempo anuais. Dentro de cada ano ou etapa de tempo, quatro módulos ou fases são processados na seguinte ordem: criação do agente, cálculo da distância em relação ao ponto mais próximo com água, avaliação da quantidade de dinheiro disponível em caixa, escolha do tipo de cultura a ser implementado. Dentro de cada módulo, os indivíduos são alocados de acordo com as propriedades pré-definidas nos dados de entrada. A ação dos agentes pode ser observada no diagrama de atividades (Figura 2).

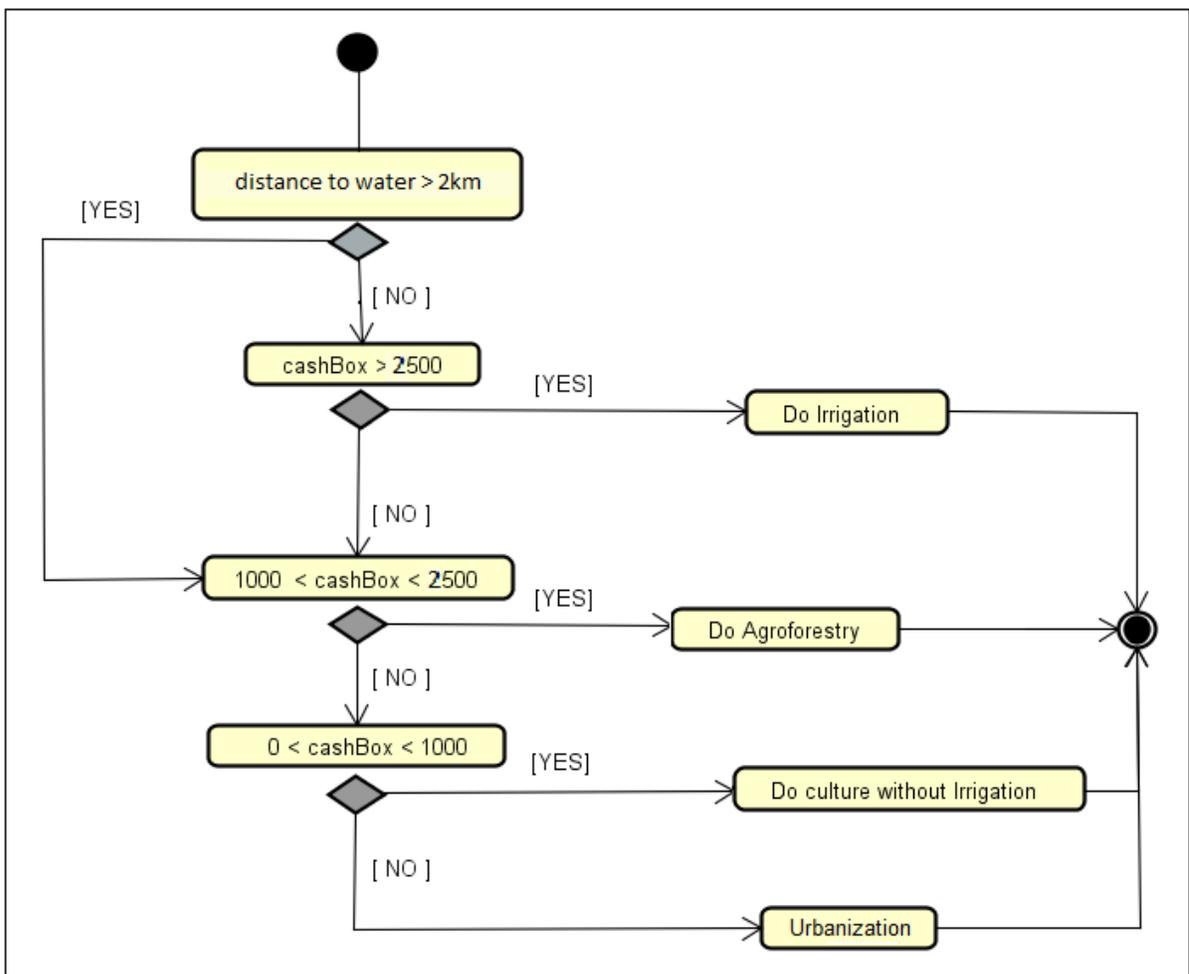


Figura 2 – Diagrama de atividades do agente.

Conceitos de Design

Emergência: a dinâmica do uso e ocupação do solo emerge do comportamento dos indivíduos, assim como o faturamento total e a utilização da água pela comunidade. O tipo de cultura agrícola presente na propriedade e o comportamento do indivíduo são representados por regras empíricas que descrevem, por exemplo, a escolha do uso e ocupação do solo. A adaptação e a aptidão não são, portanto, modeladas explicitamente, mas estão incluídas nas regras aplicadas.

Detecção: os indivíduos conheçam a quantidade de dinheiro presente em “caixa” e a distância do rio de modo que tomam a decisão de qual uso e ocupação do solo de suas propriedades irão escolher de acordo com esses fatores.

Interação: não existe interação entre os agentes, cada proprietário toma a sua decisão de acordo com fatores econômicos e geográficos presentes em sua parcela, sendo assim, não há a interferência de fatores relativos à vizinhança.

Estocasticidade: a estocasticidade presente no modelo está associada à questão financeira de cada agente, onde os valores ganhos e as despesas pertinentes a cada propriedade são selecionados de forma aleatória. Como base para o intervalo monetário de cada um dos dois parâmetros, caixa inicial e despesas, foi utilizado o valor atual do salário mínimo brasileiro para o caixa inicial e sua variação de vinte a oitenta por cento para as despesas.

Observação: para testar o modelo, foi observada a escolha do uso e ocupação do solo por cada agente em vários tipos de cenários e avaliado se o mesmo se aproximava dos resultados gerados por meio dos jogos de representação de papéis. Já para a análise do modelo, foram observadas a quantidade de água presente no sistema e a renda total da comunidade.

Inicialização

A inicialização das subclasses da cobertura (“*coverage*”) foi realizada de duas formas no modelo, uma imutável (rio, floresta e urbano) por meio de um arquivo CSV e, outra mutável

(rural) por meio da decisão dos agentes (“*owner*”). Cada propriedade foi iniciada pertencendo a um proprietário totalizando um valor de 100 para ambos. Além disso, valores de precipitação e vazão foram estabelecidos para o ambiente e o corpo hídrico, respectivamente.

- Entrada de dados

Na análise geral do modelo, a quantidade de água presente no sistema em cada ano é obtida a partir de um balanço hídrico presente no modelo. Nesse balanço hídrico são considerados alguns parâmetros e variáveis, entre eles estão:

- *flow_river*: a quantidade de água disponível no plot que é atualizada a cada passo de tempo;

- *precipitation* (precipitação): parâmetro que define a quantidade de água precipitada em cada ano da simulação;

- *runoff* (escoamento superficial): a água escoada da superfície da zona agrícola;

- *water_needed_for_irrigation* (água para a irrigação): quantia de água retirada pelo agente para a prática da irrigação.

Esse ciclo hidrológico representa a disponibilidade hídrica no modelo que permite mostrar a consequência do uso e ocupação do solo para o público alvo, ou seja, a comunidade local.

Submodelos

O modelo apresenta em seu corpo um submodelo hidrológico simplificado. Esse mini-modelo é composto por um balanço de massa presente na espécie “*river*”, no qual são considerados: a quantidade de água presente no plot, o escoamento superficial proveniente das áreas rurais e a quantidade de água para irrigação. Na Equação 2 é possível observar como esse balanço de massa é descrito no modelo.

$$flow_river < -flow_river + precipitation + runoff - water_needed_for_irrigation \quad (\text{Eq. 2})$$

Para calcular o volume de água retirado do rio que será utilizado na irrigação (“*water_needed_for_irrigation*”) por cada proprietário, foram consideradas duas variáveis,

uma referente à área irrigada das propriedades que possuem irrigação e outra associada a um coeficiente de irrigação. O valor do coeficiente de irrigação foi baseado em dados obtidos pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (2008), o qual afirma que a quantidade genérica de água necessária para irrigar um hectare de plantação por dia, sem considerar o tipo de cultura, solo, clima e eficiência do sistema de irrigação, pode ser considerada como uma lâmina de 8 mm de água por dia, ou seja, 80 m³ de água por hectare-dia. Sendo assim, multiplicando o valor do coeficiente de irrigação pela área irrigada, obtêm-se a quantidade de água a ser retirada do rio.

Outra variável presente na Equação 2 é a precipitação (“*precipitation*”). Para calcular esse parâmetro, dados de monitoramento hidrológicos foram obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos no sítio Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA (2019). Os dados são referentes a uma estação de monitoramento presente próxima ao exutório da Barragem do Descoberto identificada pelo código de nº 1548008. Ela é operada pela CAESB e do tipo pluviométrica. Os dados foram trabalhados e uma média anual máxima e mínima, 500,5 e 161,8 mm por ano, foram calculadas, sendo esses os limites superiores e inferiores, respectivamente, para uma escolha aleatória da precipitação em cada passo de tempo do modelo. Entretanto, para as simulações do modelo, nas quais os valores de precipitação eram alterados de acordo com os cenários, os valores assumidos foram 1000 mm para um cenário úmido, 500 mm para um cenário médio e 100 mm para um cenário seco.

Outra variável do balanço hídrico é a vazão presente no plot com água (“*flow_river*”), ela é atualizada a cada passo de tempo e seu valor inicial foi considerado de 1 m³/s. Já a variável de escoamento (“*runoff*”) é calculada de acordo com a precipitação e a irrigação, ou seja, para calcular o escoamento superficial, um coeficiente de escoamento foi considerado, ele define que 5% da água utilizada na irrigação somada a água precipitada escoam para o rio.

Um mini-modelo econômico também está presente no modelo. Os ganhos e custos estão em função das áreas de cada propriedade, que é calculada e multiplicada pelos seus respectivos valores. Cada tipo de cultura apresenta um ganho e custo específico, sendo do maior para o menor, cultura irrigável, agrofloresta e não irrigável. Após a explanação do ODD

desenvolvido para o modelo, os resultados obtidos pelo mesmo serão mostrados e comentados no próximo subtópico.

ANEXO I



ANEXO II

