



MODELO MULTIAGENTE PARA GESTÃO COMPARTILHADA DE  
RECURSOS HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO SAMAMBAIA

PEDRO PHELIPE GONÇALVES PORTO

Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

MODELO MULTIAGENTE PARA GESTÃO COMPARTILHADA DE RECURSOS  
HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO SAMAMBAIA

PEDRO PHELIPE GONÇALVES PORTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 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

BRASÍLIA/ DF: JULHO – 2019

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

MODELO MULTIAGENTE PARA GESTÃO COMPARTILHADA DE RECURSOS  
HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO SAMAMBAIA

PEDRO PHELIPE GONÇALVES PORTO

ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS  
HÍDRICOS

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM – 222/2019

BRASÍLIA/ DF, JULHO - 2019

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

MODELO MULTIAGENTE PARA GESTÃO COMPARTILHADA DE RECURSOS  
HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO SAMAMBAIA

PEDRO PHELIPE GONÇALVES PORTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 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<sup>a</sup>. CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES, PhD. (ENC-UnB)  
(Orientadora)

---

PROF. RICARDO TEZINI MINOTI, Dr. (UNC-UnB)  
(Examinador Interno)

---

PROF. FERNAN ENRIQUE FIQUEROA, Dr. (UFT)  
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/ DF, JULHO - 2019

## **FICHA CATALOGRAFICA**

### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

PORTO, P. P. G. (2019). *MODELO MULTIAGENTE PARA GESTÃO COMPARTILHADA DE RECURSOS HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO SAMAMBAIA* Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM – 222/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, (94p).

### **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Pedro Phelipe Gonçalves Porto

TÍTULO: MODELO MULTIAGENTE PARA GESTÃO COMPARTILHADA DE RECURSOS HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO SAMAMBAIA

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 desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor

---

**Pedro Phelipe Gonçalves Porto**

**new.petter91@gmail.com**

Dedico a Deus, a minha família, aos amigos e a todos, que de alguma maneira me apoiaram nessa jornada.

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus, criador da vida.

Aos meus pais (Ronaldo e Isabel) por sempre me darem condições e apoio na busca de todos os meus objetivos.

As minhas irmãs (Carol e Beatriz) pelo apoio.

A minha mulher (Mirelle) pela sua paciência e compreensão.

A minha orientadora (Conceição), aos colegas e todos os professores do PTARH que fizeram parte dessa jornada.

Aos *Stackholders* que participaram ativamente na construção do modelo com um constante *feedback* (Bruno, Sr. Alécio e José Luiz).

Agradeço a todos os amigos que direta ou indiretamente me ajudaram com esse trabalho; seja com momentos de descontração para relaxar, ou com dicas diretas no trabalho.

## RESUMO

A gestão dos recursos hídricos é tema abrangente, que incorpora contribuições de diferentes áreas do conhecimento, desde área social como direitos humanos primordiais até ao desenvolvimento econômico, como na urbanização, produção agrícola e industrial de grandes aportes. Portanto, torna-se necessário analisar políticas e decisões sobre o assunto, com racionalidade e profundidade. Um dos caminhos para direcionar a tomada de decisão na área de recursos hídricos é a maximização dos benefícios gerados em uma bacia hidrográfica. Porém, muitas vezes, esse tipo de abordagem considera um compromisso total do usuário em se submeter às novas regras de utilização de água em prol de um benefício maior. Fato como este dificilmente ocorre, especialmente em bacias divididas geopoliticamente e com mais de um órgão gestor. Para subsidiar o processo de tomada de decisão de alocação de água em bacias hidrográficas, com risco de conflitos pelo seu uso, sistemas de informação que incorporem a representação do comportamento dos usuários à modelagem da disponibilidade hídrica, agregam informação à decisão de alocação de água. No presente trabalho, a modelagem baseada em agentes é utilizada para representar a individualidade dos usuários com suas características e comportamentos frente às políticas de gestão de água e aos possíveis cenários hipotéticos, apresentando-se como uma ferramenta para suporte a negociações e discussões sobre o assunto. Assim, se desenvolveu e implementou-se um modelo para bacia hidrográfica do Rio Samambaia. Nessa bacia a atividade com o maior consumo de água é a agricultura irrigada. O modelo considera as diferentes demandas de água de diferentes tipos de safra, preço de venda da safra, dados meteorológicos e disponibilidade de água. Cenários sobre a redução da disponibilidade de água e o pagamento pelo seu uso foram executados, os resultados mostram que, apesar da baixa diferença percentual (variações de até 2%), cada cenário teve impacto na produção de receita, tipos de culturas produzidas e demanda de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** MODELO MULTIAGENTE, GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS.

## **ABSTRACT**

The management of water resources is a wide theme, which includes reflections from different areas of knowledge, from social area as primordial human rights to economic aspects of its use in urban consumption, agricultural and industrial production. Therefore, it is necessary that decisions and policies on the subject are analyzed with rationality and depth. One of the ways to guide decision-making in the area of water resources is to maximize the benefit generated by the water resource in a river basin, but often this type of approach considers a total commitment of the user to submit to the new rules of use in favor of a greater benefit, a fact that hardly occurs, especially in basins geopolitically divided and with more than one managing organ. In order to support the water allocation decision-making process in river basins with risk of water conflicts, information systems that incorporate the behavior of users to the model of water availability can enhance information thus generate a better the water allocation decision. In the present work, agent-based modeling is used to represent users with their characteristics and behaviors in relation to water management policies and hypothetic scenarios, presenting itself as a tool to support negotiations and discussions on the subject. Thus, a river basin model of the Samambaia river was developed, in this basin the only greater water use is irrigated agriculture. The model takes into account the different water demands of different types of crop, sale price of the crop, meteorological data and availability of water. Scenarios on reducing water availability and water charges were conducted, the results show that, despite the low percentage difference (variations of up to 2%), each scenario had an impact on income production, types of crops produced and water demand.

**KEYWORDS:** AGENT-BASED MODELING, WATER MANAGEMENT.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>17</b>
2.2	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>MARCO CONCEITUAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
3.1	<b>LEGISLAÇÃO E ALOCAÇÃO RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>18</b>
3.2	<b>CONFLITOS PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS .....</b>	<b>27</b>
3.3	<b>BASES FUNDAMENTAIS PARA MODELAGEM MULTIAGENTE.....</b>	<b>29</b>
3.4	<b>PLATAFORMAS E MODELOS MULTIAGENTES.....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
4.1	<b>CARACTERIZAÇÃO INICIAL.....</b>	<b>37</b>
4.2	<b>CONCEPÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>47</b>
4.3	<b>IMPLEMENTAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO .....</b>	<b>49</b>
4.3.1	<b>PROTOCOLO ODD .....</b>	<b>51</b>
4.4	<b>DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS.....</b>	<b>74</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>84</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 Variação de pesos nos critérios de escolha .....	59
Tabela 4-3 Vazão outorgável $Q_{95}$ em L/s/km <sup>2</sup> (ANA, 2010) .....	60
Tabela 4-4 Kc das Plantações (MONTEPLAN, 2011).....	61
Tabela 4-5 Dados das plantações por safra .....	62
Tabela 4-6 Resumo dos Cenários .....	75
Tabela 5-1 Médias dos pesos dos critérios de escolha e área dos produtores em cada cenário .....	76
Tabela 5-2 Média de Receita e Consumo de Água por tipo de produtor .....	78
Tabela 5-3 Média da Produção por tipo de Produtor.....	79
Tabela 5-4 Média da Produção e Consumo na Bacia.....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 - Agente Inteligente (RUSSEL & NORVIG, 2010) .....	29
Figura 3-2 - Sistema Multiagente (FERBER, 1995). .....	30
Figura 3-3 - Agente Reativo Simples (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 49).....	31
Figura 3-4 - Reativo com Registro de Estado (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 51) .....	31
Figura 3-5 - Agente Orientado a Objetivos (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 52).....	31
Figura 3-6 - Agente Orientado a Utilidade (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 54).....	31
Figura 4-1 - Diagrama da metodologia adotada na pesquisa. Fonte: Elaboração do Autor.	36
Figura 4-2 - Localização do município de Cristalina, Goiás. Fonte: Elaboração do Autor.	38
Figura 4-3 - PIB de Cristalina - GO (1999-2013) (FURQUIM, 2017, p. 29). .....	39
Figura 4-4 - Área de atuação da CBH Paranaíba (ANA, 2015) .....	40
Figura 4-5 - Bacias Hidrográficas e distribuição de pivôs (IRRIGO, 2016b, p. 9).....	42
Figura 4-6 - Bacia do Rio Samambaia. Fonte: Elaboração do Autor. ....	43
Figura 4-7 - Pivôs de Irrigação localizados na bacia Samambaia. Fonte: Elaboração do Autor. ....	44
Figura 4-8 - Outorgas de uso de água na Bacia Samambaia. (SECIMA, 2019) .....	45
Figura 4-9 - Outorga de uso de água na bacia Samambaia. (ANA, 2019) .....	46
Figura 4-10 - Display com interface para usuário. Fonte: Elaboração do Autor.....	50
Figura 4-11 - Médias de precipitação mensal e temperatura (CLIMATE-DATA, 2019)...	63
Figura 4-12 - Diagrama de classes UML. Fonte: Elaboração do Autor. ....	67
Figura 4-13 - Diagrama de atividades dos produtores UML. Fonte: Elaboração do Autor.	68
Figura 4-14 - Diagrama de atividades Pivôs UML. Fonte: Elaboração do Autor. ....	69
Figura 4-15 - Diagrama de atividades Water UML. Fonte: Elaboração do Autor. ....	70
Figura 4-16 - Diagrama de atividades Weather UML. Fonte: Elaboração do Autor. ....	71
Figura 4-17 - Diagrama de atividades Calendar UML. Fonte: Elaboração do Autor. ....	72
Figura 4-18 - Diagrama de atividades Market UML. Fonte: Elaboração do Autor. ....	73

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABM – *Agent Based Model*

ANA – Agência Nacional de Águas

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

IADF – Distrito Federal

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

GO – Goiás

IA – Inteligência Artificial

IAD – Inteligência Artificial Distribuída

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MCP – *Marginal Cost Pricing*

ODD – *Overview, Design concepts, and Details*

OECD – *Organization for Economic Co-operation and Development*

PIB – Produto Interno Bruto

PLS – Projeto de Lei do Senado

PNI – Política Nacional de Irrigação

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PRH – Plano de Recursos Hídricos

RIDE – Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

RDP – Resolução Distribuída de Problemas

SECIMA – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos

SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SMA – Sistemas Multi-Agente

USGS – *United States Geological Survey*

WWC – *World Water Council*

# 1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada vem apresentando desenvolvimento crescente nas últimas décadas, indo muitas vezes na contramão da economia brasileira e mundial. O grande desafio é conciliar a produção agrícola atual com os outros usos de água, gerando, assim, um ambiente de sustentabilidade na utilização dos recursos hídricos (RODRIGUES, 2017). O aumento da atividade agrícola representa um aumento no consumo de recursos hídricos, mas grandes benefícios podem ser apontados em contrapartida: como o desenvolvimento econômico, o aumento da produtividade e segurança alimentar brasileira (ANA, 2017). Neste trabalho desenvolveu-se uma ferramenta para contribuir para a gestão dos recursos hídricos, no sentido de auxiliar a gestão participativa e incentivar o comportamento de cooperação entre os usuários, buscando a conciliação entre os usuários agrícolas e os demais usuários.

A FAO (2012) apresenta projeções para o ano de 2050, que indicam um aumento da população mundial e um crescimento na média de calorias consumidas, e para se conseguir suprir essa demanda por alimentos, a produção agrícola no mundo teria que aumentar em 60%, 77% de aumento em países em desenvolvimento e 23% em países desenvolvidos. E considerando, que a adoção da irrigação gera um aumento apreciável na produtividade da lavoura, a demanda para suprir as atividades de irrigação levaria ao aumento da pressão sobre os recursos hídricos.

A FAO e WWC (2015) apontam que existe água suficiente para atender as demandas da produção para suprir as necessidades da população mundial. O grande problema é a distribuição espacial dos alimentos e da água, onde regiões críticas (desfavorecidas geograficamente) passarão a ter insegurança hídrica e alimentícia. A escassez hídrica impacta na vida nas áreas urbanas e rurais, na segurança alimentícia e nas atividades econômicas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (1997) tem como um de seus fundamentos a garantia do uso múltiplo das águas. Em épocas de escassez hídrica, proporcionar o uso múltiplo pode se tornar uma tarefa árdua e o consumo humano se torna o setor prioritário para o uso de água. Outro ponto importante é o crescimento populacional, que traz consigo não só um aumento na demanda de recursos hídricos para o consumo, como também o aumento na demanda de alimentos (FAO, 2012) e energia,

fatores que podem aumentar a pressão sobre os recursos hídricos e agravar os conflitos, ficando evidente que em determinados cenários não haverá água suficiente para todos os usuários, fato este que já ocorre em algumas bacias críticas.

A segurança hídrica se torna um fator extremamente importante para a convivência pacífica no futuro. Jenkins et al. (2017) aponta os seguintes tópicos que devem ser trabalhados para atingir a segurança hídrica: liderança da gestão; colaboração entre usuários, empresas e sociedade civil; trabalhar a análise de dados, dinâmica entre as partes interessadas e os aspectos político-econômicos das mudanças; uma boa articulação e comunicação entre as partes interessadas; e uma valorização dos líderes regionais. Tornar clara a necessidade de fazer da gestão um processo participativo e transparente.

Existem diversas maneiras de incentivar a dar suporte à gestão participativa, e uma delas é a utilização de modelagem multiagente, onde são criados modelos em que cada usuário tem seu comportamento individualizado, não necessariamente cooperativo com planejamento para a bacia, criando assim, modelos que refletem melhor as ações dos usuários (GIULIANI et al., 2015), logo, se diferenciando de abordagens que levam em consideração uma ação coordenada dos usuários em prol de um bem maior. Nesse sentido, os modelos multiagentes podem servir como uma ferramenta para explorar cenários e auxiliar na negociação entre os usuários.

Ng et al. (2011) diz que o uso de modelos multiagente no gerenciamento de bacias hidrográficas ocorre porque os sistemas econômico-sociais desses modelos conseguem apresentar uma forte interdependência, entre os agentes humanos e o meio ambiente. muitas vezes, um modelo completo se apresenta com um modelo das características físicas da bacia hidrográfica e o modelo multiagente. Schmolke et al. (2010) indica que a modelagem multiagente que considera a questão ecológica é importante para a tomada de decisão porque ela permite a exploração de cenários de políticas e manejos alternativos. Akhbari e Grigg (2013) reiteram que esses modelos podem ajudar a encontrar bons cenários de manejo e ainda encorajar partes conflitantes a cooperar.

Segundo a definição de Wooldridge (2002) um agente é um sistema de computador situado em um ambiente virtual capaz de realizar ações autônomas para alcançar seus objetivos. Sistema multiagente (SMA) é um sistema composto por diversos agentes com informações e interesses divergentes. Um modelo multiagente (ABM, do inglês *Agent-Based Modeling*) é um tipo de SMA.

Os modelos multiagente apresentam uma exclusiva abordagem micro para macro provendo uma grande flexibilidade para especificar as regras de decisão para um agente. A

flexibilidade dos modelos multiagente também permite a utilização conjunta e integrada com outros modelos, além disso, esse tipo de modelo também permite condições dinâmicas onde o ambiente e os agentes mudam com o tempo, permitindo assim uma boa representação de dinâmicas do micro para o macro (NG et al., 2011).

Outra abordagem que também está ligada ao ABM são os jogos sérios (*Serious Games*), nos quais os modelos podem ser utilizados como plataforma, ou como suporte para jogos de simulação que tem como objetivo promover o aprendizado (RODELA, 2019). Zhou e Mayer (2017) fizeram uma pesquisa com políticos, gestores de água e pesquisadores para verificar a aceitabilidade e usabilidade de métodos de auxílio na gestão que envolva modelos, simulações e jogos. Os autores verificaram que ainda não há um consenso sobre o uso, e até certo desconhecimento sobre esse tipo de abordagem, sinalizando que ainda há espaço para o crescimento no uso dessas ferramentas.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Samambaia existe uma alta densidade usuários que utilizam a água para irrigação com pivôs centrais. Esses usuários competem entre si para a utilização da água. Também existe um atrito no setor elétrico na bacia, que necessita da permanência de uma quantidade mínima de água no seu montante, para que este possa funcionar. Considerando isso, a ANA criou um grupo de trabalho para articular com os produtores locais e desenvolver uma gestão compartilhada no local.

Logo, esse trabalho se apresenta como um estudo para se desenvolver um ABM para gestão compartilhada de recursos hídricos, onde diversas externalidades e internalidades possam ser simuladas, e assim encontrar melhores alternativas, que atendam as demandas dos usuários locais. Utiliza-se esse tipo de ferramenta por usuários e gestores de diversas localidades; esta pode servir como um lugar comum, para a exploração de diversos cenários, ajudar no processo de gestão de recursos e poder promover a cooperação e diminuição dos conflitos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver um modelo multiagente para auxiliar na gestão compartilhada para a alocação dos recursos hídricos em bacias agrícolas, favorecendo a cooperação e a diminuição de conflitos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos que contribuíram para o alcance do objetivo geral do presente trabalho são:

a) construir modelo multiagente conceitual para auxiliar a gestão de recursos hídricos na bacia Hidrográfica do Rio Samambaia com base na participação ativa e recorrente dos stakeholders no processo de modelagem;

b) implementar e documentar o modelo conceitual por meio da aplicação da plataforma GAMA de modelagem multiagente;

c) a aplicabilidade de modelos multiagentes para facilitação da tomada de decisão para gestão dos recursos hídricos tendo a bacia Hidrográfica do Rio Samambaia como estudo de caso e considerando o objetivo de educação e fomento à gestão compartilhada dos recursos hídricos.

### **3 MARCO CONCEITUAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 LEGISLAÇÃO E ALOCAÇÃO RECURSOS HÍDRICOS**

Em termos nacionais, o Código de Águas (1934) é considerado como ponto de partida da gestão dos recursos hídricos. Antes do Código, não havia nenhum controle formal dos usuários, os usos ocorriam de acordo com o interesse de particulares, particulares incentivados pelo poder público, e eventualmente uso exclusivamente público para o abastecimento de água dos centros urbanos (LOPES & FREITAS, 2007). O Código ainda definia: águas públicas como de uso comum do povo; águas comuns como de domínio público e bens sem dono; e águas particulares como nascentes situadas em terrenos particulares ou que não se enquadram nas outras categorias (AMADO, 2017).

No Brasil, o processo de alocação formal de recursos hídricos se iniciou na operação de reservatórios para a produção de energia. A partir da estatização das empresas de geração de energia, a operação dos reservatórios começou a seguir o Código de Águas. O Código estipulava uma vazão mínima para o atendimento a serviços públicos, isso gerou uma perda de 30% da capacidade de geração de energia. Essa limitação foi uma medida do poder público que buscava resolver conflitos pelo uso da água com uma regra geral (LOPES & FREITAS, 2007).

A evolução do gerenciamento dos recursos hídricos acabou culminando na Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997) onde em seus fundamentos já elimina a questão apropriação particular da água e levando em consideração os outros fundamentos, a água não pode ser considerada uma mercadoria. Atualmente a PNRH se encontra em vigor e seus fundamentos norteiam todo o gerenciamento dos recursos hídricos, tendo em vista essa importância vale citá-los:

- I – a água é um bem de domínio público;
- II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III – em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI – a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. (BRASIL, 1997).

Ainda sobre a PNRH - ela traz estes instrumentos importantes para a gestão dos recursos hídricos: Planos de Recursos Hídricos; Enquadramento dos corpos de água em classes; Outorga dos direitos de usos; e Cobrança do uso de recursos hídricos.

O Plano de Recursos Hídricos dá um diagnóstico da situação atual dos usos de água na bacia hidrográfica. Ele traça cenários para futuras utilizações de água, provendo assim um planejamento hídrico. Esse plano também deve conter metas para a racionalização do uso e prioridades para a outorga de uso dos recursos hídricos.

No Enquadramento dos Corpos de Água há um procedimento participativo feito entre os usuários da bacia hidrográfica para classificar os rios de acordo com a resolução CONAMA 357 de 2005 e alterações. Cada classe define os tipos de usos que podem ser feitos em cada corpo hídrico. Os procedimentos para o enquadramento são definidos por uma resolução do CNRH.

A Outorga dos Direitos de Uso trata de um ato administrativo que garante o direito de utilização do recurso hídrico ao usuário. Ela tem como objetivo controlar quantitativamente e qualitativamente os usos da água, além de procurar garantir os usos múltiplos.

Cobrança de Uso de Recursos Hídricos visa reconhecer o valor econômico da água, como consequência acaba incentivando o seu uso racional. Os recursos financeiros arrecadados devem ser aplicados prioritariamente na respectiva bacia hidrográfica nos planos e intervenções contidos no Plano de Recursos Hídricos. Os valores devem ser cobrados de acordo com a quantidade de água retirada ou efluente líquido lançado.

Para a utilização desses instrumentos a PNRH definiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH. Dentre os objetivos desses órgãos

estão: arbitrar os conflitos relacionados aos recursos hídricos; planejar, regular e controlar o uso, e a preservação dos recursos hídricos; promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Os órgãos contidos no SINGREH são: Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH; Agência Nacional de Águas – ANA; Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e DF; Comitês de Bacia Hidrográfica; Órgãos dos poderes públicos com competências relacionadas aos recursos hídricos nas esferas federal, estaduais, do DF e municipais; e Agências de Águas.

CNRH - estabelece critérios gerais para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos. Também define os valores a serem cobrados pelos usos dos recursos hídricos em corpos hídricos de domínio da União, esses valores deveram ser baseados em mecanismos quantitativos indicados pelos Comitês de Bacia.

ANA - tem entre suas atribuições outorgar o direito de uso de recursos hídricos em corpos hídricos de domínio da União; regular e fiscalizar os usos; pode também fixar padrões de eficiência para determinados usos. Nos corpos hídricos de domínio estadual, os órgãos de poderes públicos estaduais têm papéis semelhantes ao da ANA.

Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) – este órgão tem dentre suas atribuições, aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da respectiva bacia. Além disso, pode arbitrar em primeira instância os conflitos relacionados a recursos hídricos dentro de seu perímetro. Outra atribuição importante é estabelecer mecanismos de cobrança pelos usos da água e indicar valores a serem cobrados.

Agências de Água são os órgãos executivos ligados aos Comitês de Bacias Hidrográficas. Elas são responsáveis pela elaboração do Plano de Recursos Hídricos, por propor ao Comitê os valores cobrados pelo uso da água, e podem ser responsáveis pela cobrança pelo uso de recursos hídricos se forem delegados pelo outorgante.

A PNRH define quais usos são passíveis de outorga, em geral, qualquer uso que altere o regime, quantidade e qualidade das águas de um corpo d'água devem passar pelo processo de outorga. Existe ainda utilização de vazão insignificante, onde a outorga não é exigida, mesmo assim é necessário o registro da atividade.

É possível haver a transferência da outorga a outra pessoa, mas devem ser mantidas as suas condições originais. Essa transferência pode ser total ou parcial e deve ser aprovada pela autoridade outorgante, que emitirá uma nova outorga para os envolvidos (AMADO, 2017).

No começo de 2018 tramitou no Senado Federal um Projeto de Lei do Senado – PLS, 495 de 2017, que tenta inserir o instrumento do mercado de águas como alternativa para o um manejo mais aperfeiçoado dos recursos hídricos. O mercado de águas seria estabelecido com a anuência do comitê de bacia hidrográfica e pelos órgãos outorgantes, ele deve respeitar os usos prioritários e vazão ecológica, as transferências são por tempo determinado e ocorrem dentro da mesma bacia. A cessão do direito de uso será registrada no comitê de bacia em seguida será enviado ao órgão outorgante para avaliar a transferência, e aí sim, validar a operação.

Não há definição legal da expressão “outorga coletiva”, mas a ANA usa esse termo em um de seus manuais se referindo às outorgas conjuntas de diversos usuários e suas respectivas utilizações de recursos hídricos. Apesar de ser uma resolução coletiva, as responsabilidades são individuais a cada usuário (AMADO, 2017).

Outra lei importante para os recursos hídricos é a Política Nacional de Irrigação – PNI (BRASIL, 2013). Entre seus princípios está o uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados à irrigação, adicionalmente também está nos princípios, a integração e articulação com demais políticas e ações. Um instrumento interessante contido na lei são os Planos e Projetos de Irrigação, esses planos e projetos são feitos a nível nacional e estadual, onde é realizado um diagnóstico de toda a cadeia produtiva envolvendo a irrigação, e são apontadas as aptidões de cada região.

O método de alocação de águas mais utilizado no Brasil é feito pela outorga do uso da água. A determinação de quantidade outorgável para o uso da água é feita baseada na definição local de vazão mínima de referência. Dentro dessa faixa de vazão outorgável o poder público define as quantidades para cada setor. Cada órgão outorgante determina a sua vazão mínima de referência, as mais utilizadas são  $Q_{90}$  (nível de vazão do rio que é superada 90% do tempo) e a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima durante sete dias com um período de retorno de 10 anos). Isso garante que haja vazão disponível para os usuários mesmo em períodos de estiagem. Em períodos de hidrologia favorável esse tipo de abordagem acaba deixando uma grande quantidade de água fora da região outorgável. Com os limites

outorgáveis definidos, também é estipulada a vazão mínima que deve ser mantida nos rios para a manutenção das atividades ambientais (Vazões Ecológicas). O método adotado para isso aplica um valor arbitrário, que muitas vezes não consideram as reais necessidades ambientais e suas variações regionais e temporais (LOPES e FREITAS, 2007).

Cada órgão responsável em emitir as outorgas de uso tem seu próprio procedimento, no caso da ANA existe manual para outorgas (ANA, 2013), nele é descrito como obter a outorga de direito de uso de recursos hídricos para qualquer empreendimento sujeito a ela. O passo inicial é fazer o cadastro do empreendimento no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH, especificamente para a irrigação é necessário calcular as demandas sazonais e considerar a evapotranspiração de referência mensal, precipitação provável, sistema de irrigação, cultura irrigada, entre outros. E, após calcular a demanda, faz-se uma análise de disponibilidade, para verificar se o usuário pode ser atendido (normalmente a ANA adota o  $Q_{95}$ ) e por fim é emitida a outorga.

A água, como qualquer outro recurso, não é ilimitada. Por tanto, dependendo da situação, a sua disponibilidade pode não atender todas as demandas da sociedade. Logo há a necessidade de gerenciar o acesso a esse recurso limitante.

Segundo Filho e Porto (2008), o gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas ocorre em três fases: primeira fase é a implantação da infraestrutura, aumentando a oferta; na segunda fase há um aumento da preocupação com o uso da água, onde é gerada uma gestão da demanda; na última fase, os custos de ampliação se tornam muito altos e a demanda continua a crescer, onde há a necessidade de alocação da água. Os critérios para selecionar mecanismos para alocação devem envolver outros aspectos além dos econômicos, como equidade social e sustentabilidade do meio ambiente.

Dinar et al. (1997) explicam e mostram as vantagens e desvantagens dos quatro principais mecanismos de alocação de água. Um destes mecanismos é a precificação baseada no custo marginal (*Marginal Cost Pricing* – MCP) - Coloca o preço da água como o custo marginal para o fornecimento da última unidade de água (deve ser considerado as externalidades), esse método é considerado economicamente eficiente ou socialmente ótimo. Como vantagens tende-se sempre a trabalhar com o preço ótimo, evita a adoção de preços menores que o valor da água (logo, reduz o uso excessivo), e pode ser combinado com taxas e multas sobre a poluição da água (adicionando assim, mais uma externalidade). A grande desvantagem desse método é calcular o custo marginal, se torna necessário

coletar muitos dados quantitativos, que podem variar com o tempo e demanda, para podermos calculá-los. Esse tipo de abordagem também acaba influenciando negativamente usuários de baixa renda.

Alocação de água pela administração pública - devido às próprias características da água (dificuldade em ser considerada um bem de mercado, vastamente considerada como bem público e os custos elevados para o setor privado em um desenvolvimento em larga escala da água) esse tipo de alocação é favorecido. Normalmente esse tipo de alocação vem ligado com as quantidades de água, normas físicas e influências políticas. Essa abordagem promove uma divisão mais equitativa, protegendo o usuário de baixa renda, provendo a vazão ecológica e garantindo que uma vazão mínima chegue à jusante. Como desvantagem, uma demanda subdividida pode desenvolver mecanismos de transferência de direito de uso e conseqüentemente transações subvalorizando a água, gerando assim um desperdício. A utilização desse método sozinho geralmente não desenvolve o uso racional da água.

Mercados de água - a alocação baseada em mercado é dada pela transferência dos direitos de uso da água entre os usuários. Do ponto de vista econômico, para um mercado ser competitivo ele deve atender a diversas condições, dentre elas: vendedores e compradores idênticos e com o mesmo nível de informação; as decisões de cada indivíduo, não afeta as dos outros; cada indivíduo tem como objetivo maximizar o lucro. Devido a características da água, que não atendem alguns requisitos de um bem econômico (por exemplo, perfeita divisibilidade, propriedade definida, etc.),

o mercado de água é dependente de regulação por meio de um ente público para determinar regras para alocação inicial, criar uma plataforma legal para as transferências, uma infraestrutura para a transferência física da água. Esse método acaba beneficiando tanto o vendedor quanto o comprador, onde o vendedor ganha dinheiro com a água sobressalente e o comprador consegue ampliar seus lucros que eram limitados pela falta de água, além de incentivar o uso racional através do benefício econômico. Como desvantagens temos a dificuldade de definir os direitos de uso em rios com vazões variáveis, usuários de baixa renda vendendo a baixos preços, transferências entre setores (agricultura para indústria, por exemplo) podem causar impactos ambientais severos.

Alocação baseada em usuários - normalmente é utilizada como alocação entre usuários de um mesmo setor, cada região acaba desenvolvendo suas próprias regras para a alocação da água. Essa alocação necessita de instituições representantes do coletivo de usuários para legitimar as decisões sobre os direitos de uso. O efeito dessa alocação sobre a quantidade e qualidade da água depende muito das regras locais. A maior vantagem é a flexibilidade em se adaptar os padrões de entrega com a necessidade local. Os usuários locais conhecem mais a realidade da região e não depende de regras rígidas vindas de órgãos nacionais. Outro ponto positivo é a alta aceitação social desse tipo de alocação. A atuação das instituições representantes tem que ser transparente, mas tem a desvantagem de sua efetividade ser limitada na realocação para outros setores.

Ainda sobre o método do MCP, os diversos usos da água levam a uma grande dificuldade em estabelecer o seu valor, uma vez que cada uso tem diversos níveis de dependência e benefício gerado com a utilização da água, além dos inúmeros fatores que podem alterar a disponibilidade e confiabilidade do abastecimento (OLIVEIRA & VENTURINI, 2009).

O modelo desenvolvido no presente trabalho também pode servir como uma ferramenta para explorar cenários com os mecanismos citados de alocação, ver como se encaixam na região. Além de poder definir o MCP na simulação e explorar cenários de alocação baseada em usuários.

Um fator importante para a alocação é a precificação da água. Para se estipular o valor da água, além dos valores inerentes à sua “produção” (estrutura para captação, transporte, tratamento, armazenamento, distribuição, construção, manutenção e ampliação da estrutura), também deve ser levado em conta o custo de oportunidade (o custo de não aplicar a água em outra atividade) (EHLICH & MORAES, 2005).

Com relação aos mecanismos que utilizam a transferência de direitos de uso, existem alguns problemas associados com a sua transação. Campos et al. (2002) listaram alguns dos principais entraves decorrentes dos tipos de transações. As transações podem ser divididas em temporárias e permanentes, dentro dessas divisões existem transações entre usuários da mesma tomada d’água, entre usuários de um mesmo rio com tomadas distintas, entre dois rios diferentes, e ainda, na transação permanente há a possibilidade de ocorrer a troca entre bacias distintas.

Analisando todas essas transações pelo ponto de vista hidráulico, outorgas e custos de transação, as feitas dentro da mesma tomada d'água são as que representam menos dificuldades de serem executadas. As transações feitas no mesmo rio, mas em tomadas diferentes têm a complexidade parecida com as feitas na mesma tomada, contudo, dependendo da distância podem apresentar custos significativos na transação. Já as transações entre rios e bacias hidrográficas diferentes, além dos problemas referentes à outorga, exigem a construção de uma infraestrutura específica, para isso, gerando custos adicionais para a transação, dependendo da situação, é justificável a construção de uma estrutura permanente de transposição. Existem outros custos inerentes às transações, esses custos estão relacionados ao controle e monitoramento dessas vazões outorgadas (CAMPOS *et al*, 2002).

Como o problema de alocação de água acontece em várias regiões do mundo, muitas regiões desenvolveram sua própria maneira de abordar o assunto. Na utilização da abordagem de mercados de água há os seguintes exemplos: no oeste americano vários fatores (crescimento populacional, escassez de água e alocação inicial baseada nos primeiros a chegar ao local) contribuem para o embasamento de um mercado com regras bem definidas; no Chile, o Código Nacional de Águas coloca a água como um bem público, mas permite a transferência do direito de uso, na região norte e central. Essa prática é mais fortalecida, pois há escassez de água e os custos de transações são baixos (CAMPOS *et al*, 2002). A região do Cariri Cearense é a única região do Brasil que adota o Mercado de Águas para a alocação e realocação desse recurso, mecanismo que permite a transação da água, estipulado no ano de 1855 e teve como objetivo sanar os conflitos da região (ABREU & PINHEIRO, 2007).

Filho e Porto (2008) fizeram uma modelagem matemática de um mercado de água, e apontou-se um fato interessante, nas simulações com a fiscalização de eficiência menor que 60% não se utilizaram o mercado de água devidamente pelos usuários, indicando um alto nível de usuários que não pagam as taxas necessárias e se aproveitam dos outros no sistema. Esse tipo de comportamento talvez possa ser extrapolado para outros modelos, e a falta de fiscalização e cooperação dos usuários pode prejudicar o bom funcionamento do sistema.

FGV & EAESP (2018) fizeram um levantamento da literatura e compararam exemplos de diversos mercados de água pelo mundo. Eles conseguiram levantar algumas

características importantes - cada bacia deve ter o mercado adaptado à sua realidade; mercados com usuários mais heterogêneos apresentam maior atividade; quanto menor os custos de transação, maior a eficiência alocativa; deve haver uma vazão máxima outorgada para o uso; épocas de crise apresentam momentos oportunos para a introdução de mudanças; a introdução do mercado de águas deve ser gradual; o caráter flexível e descentralizado faz com que mercados de água sejam apropriados para lidar com incertezas.

A FGV & EAESP (2018, p. 9) também levantaram possíveis modelos para mercados de direito de uso de água no Brasil:

- Transferências a partir de termo de alocação negociada em momentos de crise;
- Transações a partir de um ponto de captação (compartilhado por mais de um usuário);
- Bancos de água públicos (para a compensação por redução do consumo);
- Criação de títulos/certificados de alocação anual transacionáveis;
- Flexibilização das regras atuais para transferência de outorgas.

Campos et al. (2002) definem um modelo de alocação de águas em quatro fases: diagnóstico da situação atual; definição dos totais a alocar; alocação das disponibilidades; e definição de critérios para a realocação. Relacionado com a alocação inicial, Filho e Porto (2008) dizem que pode haver dois tipos de alocação: no primeiro caso, o órgão governamental distribui as outorgas de forma gratuita, por demanda espontânea; no segundo, essa distribuição seria realizada pelos usuários participantes, onde os mesmos compensariam monetariamente o órgão governamental.

O melhor modelo de alocação deve ser adaptado às condições culturais, políticas e ambientais de cada região. A busca por maximizar somente o valor econômico da água, pode prejudicar os usuários de baixa renda, gerando grandes problemas em sociedades desiguais. Esse modelo deve ser desenvolvido continuamente por meio da participação do corpo técnico, sociedade interessada e políticos (CAMPOS *et al*, 2002).

A OECD (2015) fez uma avaliação de diversos mecanismos de alocação de água, e encontrou as seguintes características: aproximadamente 57% dos regimes de alocação reportaram levar em consideração as mudanças climáticas; 2/3 dos regimes relataram a adoção de sanção para casos de não cumprimento das regras, onde as multas são as mais adotadas; a maioria dos regimes cobra pela retirada de água, o uso industrial é o mais

cobrado e normalmente as taxas são baixas; 2/3 dos regimes apresentaram algum tipo de mecanismo para a transferência do direito de uso; e na maioria dos casos o direito de uso tem prazo determinado, mas alguns casos apresentaram o direito perpétuo (Austrália, Chile, Israel e Peru) mesmo sem preencher os requisitos para o benefício da sociedade.

### **3.2 CONFLITOS PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS**

A água é uma necessidade comum entre os seres humanos, ela pode ser usada tanto para a sobrevivência quanto para o desenvolvimento econômico. Nos usos consuntivos os usuários acabam restringindo a vazão disponível para o aproveitamento dos usuários à jusante. E, se esse relacionamento entre usuários não for bem trabalhado, haverá conflitos relacionados ao uso da água. O mesmo efeito pode acontecer com usuários que diminuam a qualidade da água, onde consequentemente a utilização em outros setores fica prejudicada. Amorim et al. (2016) apontam como os dois principais motivos originam os conflitos: a escassez hídrica e a falta de gerenciamento dos recursos hídricos.

De acordo com Pinheiro et al. (2003) conflito pode ser interpretado como interesses opostos, divergência entre pessoas ou grupos com diferenças de necessidades, valores ou crenças. Devido à grande importância para a vida humana e a crescente demanda de uso, a disputa pelo acesso e pela alocação de água é bastante comum. Esse conflito pode tomar proporções muito maiores, quando a bacia hidrográfica é compartilhada por países ou unidades administrativas diferentes (AMORIM et al., 2016).

O clima do Distrito Federal – DF e consequentemente das regiões próximas pode ser um fator que potencialize conflitos, devido ao seu período de seca, bem definido e prolongado, representando um caso de má distribuição temporal dos recursos hídricos. Períodos de seca, mais alongados, ou aumento na demanda de recursos podem causar conflitos nesses períodos mais críticos (SILVA & NETO, 2008).

Como estudo de caso, Amorim et al. (2016) analisaram o conflito que ocorria na bacia dos rios Piancó e Piranhas-Açu. A referida bacia se encontra na região semiárida do nordeste brasileiro dentro do perímetro dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. O principal uso da bacia é a agricultura (65,7%), seguido pela aquicultura (23,6%). Em 2003 o uso intensivo começou a causar conflitos entre usuários dos principais setores. O governo se mobilizou, e em uma ação conjunta da ANA e os Órgãos estatais, elaborou-se uma proposta para o Plano de Regularização e Ordenamento dos Usos dos Recursos

Hídricos. Um convênio foi estabelecido entre os órgãos responsáveis, e se definiu três linhas de ações: regularização dos usuários; gestão participativa; e gestão de rede de monitoramento. Para definir as atuações nessas linhas de ações foi definido o Marco Regulatório. A elaboração do Marco Regulatório ocorreu em ambiente cooperativo e acabou contribuindo para a criação do comitê de bacia. Próximo ao fim da vigência do Marco fez-se mais reuniões onde algumas regras foram reajustadas para a realidade local e atual. Todo o processo para a definição de regras foi feito de forma participativa entre a sociedade interessada e os órgãos de governo.

Um setor que gera bastante conflito é o setor hidroelétrico, no qual, para a geração de energia há a necessidade de se manter certo nível de água no reservatório. Logo há um objetivo diferente para cada setor, como abastecimento urbano e irrigação; nestes o objetivo é retirar água da bacia. Esse tipo de conflito ocorre na bacia utilizada como estudo de caso desse trabalho, onde outorga para a hidroelétrica limitou os retiradas de água de todos os usuários à montante da barragem, mesmo havendo disponibilidade hídrica. Após algumas reuniões no comitê de bacias o limite de retirada de água foi aumentado, mas ainda não satisfaz a crescente demanda da irrigação.

### 3.3 BASES FUNDAMENTAIS PARA MODELAGEM MULTIAGENTE

Diversas decisões importantes são tomadas todos os dias por líderes, pois elas afetam diretamente a nossa vida. Com a intenção de dar suporte à tomada de decisão, vários sistemas são desenvolvidos a fim de indicar a melhor decisão para cada ocasião. Um sistema é um conjunto de regras que apresenta uma determinada resposta mediante um determinado estímulo. Para se representar matematicamente um sistema da vida real, diversas simplificações devem ser feitas, isso geralmente ocorre pela linearização entre algumas relações de estímulo-resposta, muitas vezes essas simplificações geram subsistemas (DOOGE, 1968).

Em geral essa parte da ciência tem movido da abordagem mais detalhista e passando para uma mais holística que utiliza conceitos multidisciplinares para a resolução de problemas (DOOGE, 2005). Para Dooge (1968) a ordem resumida dos eventos para a modelagem e simulação é a seguinte: a identificação do problema; elaboração do modelo conceitual; execução da simulação; e análise dos resultados.

Uma das utilidades da inteligência artificial (IA) é mimetizar o pensamento humano, os conceitos de IA podem ser divididos em pensar humanamente, pensar racionalmente, agir humanamente e agir racionalmente. Os conceitos envolvidos em IA vêm desde a lógica desenvolvida por Platão e Aristóteles. Algumas aplicações utilizam a inteligência artificial distribuída (IAD), que pode ser dividida em duas abordagens, a resolução distribuída de problemas (RDP) e os sistemas multiagentes (SMA). O esquema de um agente inteligente pode ser visualizado na Figura 3-1 (RUSSEL & NORVIG, 2010).

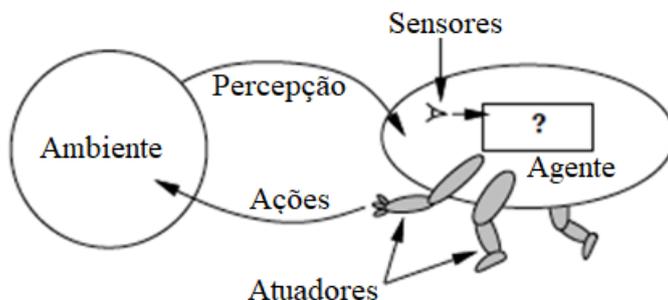


Figura 3-1 - Agente Inteligente (RUSSEL & NORVIG, 2010)

SMA são sistemas compostos de muitos agentes inteligentes interagindo entre si e com o meio que estão inseridos. As principais características dos agentes são a autonomia (decide sozinho suas ações e como alcançar seus objetivos) e a habilidade social (interações com outros agentes). Cada agente tem seu objetivo individual, portanto podem existir objetivos conflitantes (RUSSEL & NORVIG, 2010). Na Figura 3-2 - *Sistema Multiagente* é possível visualizar um esquema de um SMA, onde existe um ambiente (espaço), objetos e agentes (representados por robôs). Cada agente tem sua própria percepção do ambiente ao seu redor e pode interagir entre si e com os objetos no ambiente, para alcançar seus objetivos individuais.

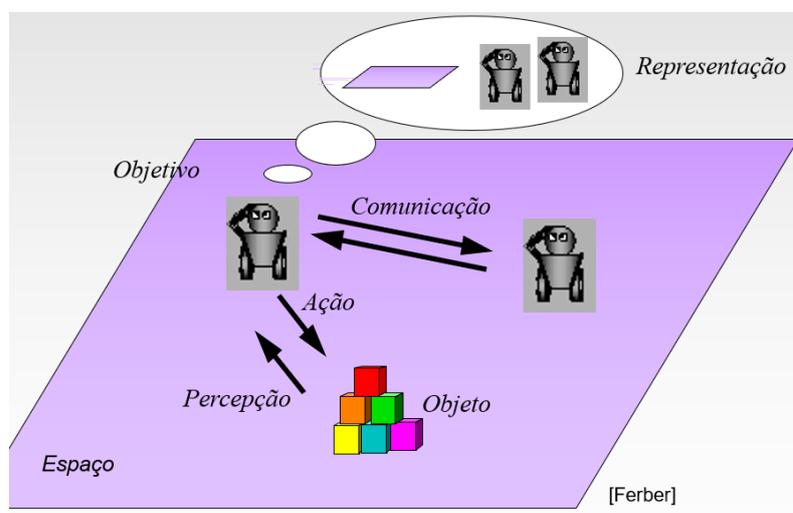


Figura 3-2 - Sistema Multiagente (FERBER, 1995).

Macal & North (2010) determinam que a estrutura de um sistema multiagente é um conjunto de agentes e de relacionamento entre agente e o meio onde os agentes se inserem.

O ambiente onde os agentes são inseridos, também possui uma série de propriedades. Ele pode ser acessível ou inacessível, estático ou dinâmico, determinístico ou não-determinístico, discreto ou contínuo e episódico ou não-episódico. O mundo real poderia ser considerado como parcialmente observável, não determinístico, sequencial, dinâmico, contínuo e multiagente. Cada tipo de ambiente determina o tipo de agente que pode ser utilizado nele. Existem quatro tipos de arquiteturas básicas de agentes: agente reativo simples, agente reativo com registro de estado, agente orientado a objetos, e agente orientado a utilidade, todos podem ser transformados com a aprendizagem (RUSSEL & NORVIG, 2010).

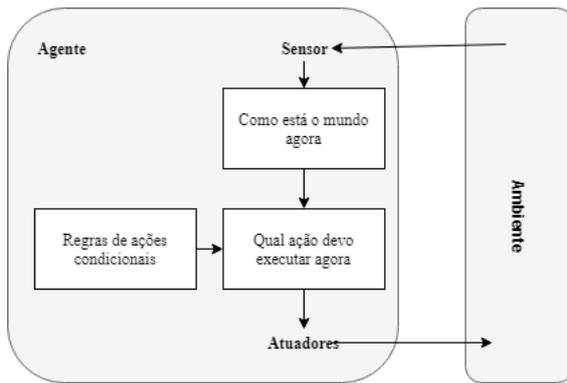


Figura 3-3 - Agente Reativo Simples (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 49)

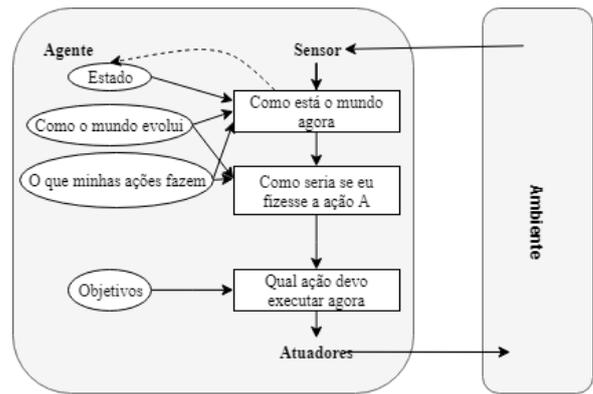


Figura 3-5 - Agente Orientado a Objetivos (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 52)

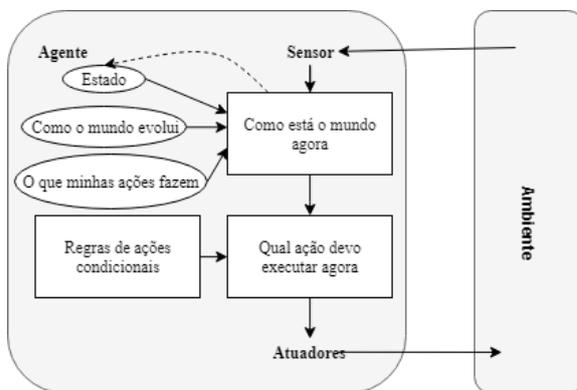


Figura 3-4 - Reativo com Registro de Estado (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 51)

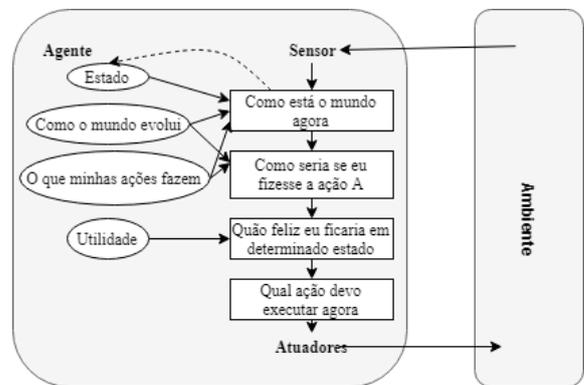


Figura 3-6 - Agente Orientado a Utilidade (RUSSEL & NORVIG, 2010, p. 54)

Da Figura 3-3 até a Figura 3-6 há uma evolução de complexidade dos agentes. Na Figura 3-3 existe um agente reativo simples, onde ele percebe as características do ambiente e simplesmente executa o que deve ser feito de acordo com suas regras internas. A Figura 3-4 traz um agente que considera o efeito das suas ações no ambiente, para escolher a ação executada. Enquanto, na Figura 3-5 o agente leva em consideração seus objetivos individuais para escolher a ação executada. Já na Figura 3-6 ele considera o seu grau de satisfação para escolher a ação executada. Os agentes utilizados no modelo construído nesse trabalho são reativos e alguns com certo registro de estado.

A utilização dos SMA, também chamados de modelagem multiagente, começou a ser difundida e aplicada em diversas áreas do conhecimento. Pesquisadores costumam usar essa ferramenta em ecologia ou economia para estudar a manejo de ecossistemas (BOUSQUET & PAGE, 2004).

Os primeiros ABM foram os modelos baseados em células autômatas, que são células em um grid no qual cada uma tem sua própria regra de ativação, cada célula é um agente individual. Esses modelos exigiam pouca computação para serem executados, como exemplo, tem-se o Jogo da Vida de Conway (GARDNER, 1970), onde o ambiente é formado por um grid e cada célula dele é considerada um agente. Este agente percebe suas células vizinhas e reage de acordo com os vizinhos, e pode viver ou morrer (visualmente trocando de cor). Com os avanços computacionais o ABM pode ser utilizado em diversas áreas como modelagem ecológica, desenvolvimento urbano, políticas de energias, negócios e finanças (NG et al. 2011).

Este trabalho tem como objetivo a criação de modelo multiagente de uma bacia hidrográfica, para utilizá-lo como ferramenta na exploração de cenários de manejo de recursos hídricos. Dados de sistema de informação geográfica (*Geographic Information System – GIS*) foram utilizados para melhor representar a região, fez-se também, reuniões com os representantes dos usuários para melhor representar as dinâmicas e perfis.

### **3.4 PLATAFORMAS E MODELOS MULTIAGENTES**

Uma etapa importante para a utilização de abordagens multiagente é a escolha da plataforma em que o modelo será implementado, atualmente as plataformas mais conhecidas são: o GAMA, CORMAS e NetLogo. Todas essas são plataformas gerais para fazer qualquer tipo de modelo multiagente. Todos os citados são de uso gratuito, se apresentaram como fáceis de serem adotados e usados, e disponibilizam uma grande quantidade de material para o aprendizado.

O GAMA é um ambiente de modelagem e simulação para construir simulações multiagentes distribuídos espacialmente. É utilizado para várias aplicações em diversos domínios (incluindo o meio ambiente). A linguagem utilizada é o GAML, uma linguagem de alto nível e intuitiva baseada em agentes. Ela suporta diversos tipos de dados (incluindo GIS) e pode executar simulações de larga escala (até milhões de agentes). Esta também tem uma interface que permite profundas inspeções nos agentes, painéis de controle, display com múltiplas camadas, aspectos dos agentes e 3D (GRIGNARD et al., 2013).

O CORMAS (*Common-pool Resources and Multi-Agent Simulations*) foi desenvolvido pelo CIRAD (organização francesa de pesquisa agrônômica e desenvolvimento) utiliza-se para modelar o relacionamento entre a sociedade e o meio

ambiente. Ele tem o intuito de facilitar o design de modelos multiagente e também monitorar e analisar seus cenários de simulações. A linguagem utilizada é o *Smalltalk*, que foi escolhida por ser uma linguagem voltada a objetos e tem uma lógica mais fácil de ser entendida para novos usuários (CIRAD, 2018). Ultimamente o CORMAS tem sido bastante utilizado na metodologia ComMod (*Companion Modeling*), na qual as partes interessadas interagem diretamente com o modelo visando a educação e conscientização sobre o funcionamento do sistema em que estão inseridos.

O NetLogo é um dos mais utilizados, é de autoria do Uri Wilensky (1999) e desenvolvido pelo CCL (*The Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*) atualmente locado na *Northwestern University*. Ele possui uma ampla comunidade ativa e produzindo na plataforma, o que gerou uma enorme biblioteca de modelos e coleção de simulações previamente escritas para modificação. A Linguagem utilizada é a Logo. E, também possui uma extensão para trabalhar com arquivos de GIS, e com a opção de trabalhar com modelos 3D.

Também existe o MASE-BDI (COELHO et al., 2016), que é um simulador multiagente voltado para mudanças na cobertura do solo. O MASE-BDI é desenvolvido no departamento de ciências da computação da UnB. O diferencial é a utilização da arquitetura BDI (Belief-Desire-Intention) para o comportamento dos agentes e uma série de algoritmos que fazem a calibração automática.

Com relação à utilização de modelos multiagentes para o gerenciamento de recursos hídricos há diversos exemplos. Arnold, Troost e Berger (2015) utilizaram um ABM integrado a um modelo hidrológico para identificar a importância econômica da água de retorno da irrigação em uma bacia hidrográfica no Chile. As decisões dos agentes produtores rurais eram feitas baseadas nas vazões de retorno (escoamento após irrigação) e na quantidade de água disponível para ser utilizada. A água disponível era baseada na vazão do rio, nos direitos de uso da água, na água de retorno e no excedente não utilizado nos direitos de uso. Como resultado eles estimaram que em anos de pluviometria considerada como normal de 20 a 40% tiveram a água de reuso como um importante fator na sua produção, e em anos secos os produtores com menos direito de uso de água apresentaram uma maior sensibilidade ao decréscimo de água de retorno.

Becu et al. (2003) utilizaram o CATCHSCAPE, um sistema multiagente para simular as feições das bacias e as decisões individuais dos agentes. Simulou-se a parte

hidrológica com módulos biofísicos. As dinâmicas sociais giravam em torno da água, da terra, de dinheiro e de força para trabalho. O manejo da água era feito em nível individual, esquemático e de bacia hidrográfica. Como resultado, foi possível visualizar o comportamento dos agentes, sob cenários adversos. Com esses dados é possível guiar a tomada de decisão e elaboração de políticas públicas em determinadas ocasiões. Esse modelo contribuiu bastante no início do desenvolvimento do modelo apresentado nesse trabalho.

Herrera (2018) utilizou a modelagem multiagente para representar o comportamento dos consumidores de água em meio urbano, uso doméstico. O seu ABM foi integrado com um modelo hidrológico e comparou-se os padrões de consumo sob diferentes medidas de contingenciamento em um cenário de escassez hídrica. As medidas de contingenciamento adotadas foram: a utilização de uma taxa extra, programas educacionais e uma combinação das duas medidas. As diferentes medidas apresentaram diferentes resultados dependendo da classe social e da escolaridade dos agentes.

Reaney (2007) utilizou a modelagem baseada em agentes para abordar a questão do escoamento, detenção, infiltração e percolação da água em uma bacia hidrográfica semiárida. Uma vez que esse tipo de modelagem é bastante complexa devido às heterogeneidades do ambiente, a modelagem baseada em agentes apresentou-se como uma alternativa. Ele criou um agente chamado *hydroAgent*, o qual seria distribuído pelo ambiente e marcaria os caminhos tomados pela água e o seu destino final em um evento chuvoso. Esse agente representaria uma amostra de molécula de água que deixaria todo o seu caminho registrado pelo espaço e pelo tempo. Os resultados apresentaram uma boa capacidade de visualizar detalhadamente os locais que contribuem para o escoamento superficial.

NG et al. (2011) usou a abordagem dos modelos baseados em agentes para identificar os impactos do processo de tomada de decisão de fazendeiros na qualidade da água, no mercado de concessão de carbono e no cultivo de insumos para a produção de biocombustível. Foi um modelo semi-hipotético onde cada fazendeiro era representado por um agente que por sua vez agia como foi previamente determinado. Como resultado eles encontraram que diferentes perfis de agentes levaram a diferentes impactos, o principal fator que influenciou as decisões dos agentes foi o preço de venda da lavoura, o custo de produção e os rendimentos. O comportamento dos agentes apresentou influência direta na

qualidade da água, principalmente dos que aderiram à produção de insumos para o biocombustível.

Oel et al. (2010) usaram a abordagem multiagente para entender os mecanismos responsáveis pela distribuição da água no espaço e no tempo, informação que pode ser utilizada para o planejamento de bacias hidrográficas. Entre a disponibilidade da água e o seu uso encontrou-se correlações positivas e negativas. Um resultado encontrado sugere que na época úmida do ano com maior disponibilidade hídrica resulta em um baixo consumo de água, e na época seca com uma maior disponibilidade hídrica resulta em um alto consumo.

O MAELIA é um modelo multiagente, onde sua aplicação é voltada para gerenciamento de recursos hídricos, mais especificamente a bacia hidrográfica de Adour-Garonne, na França. Ele foi construído na plataforma GAMA. Basicamente o MAELIA é dividido em quatro caixas, a primeira é responsável pelo manejo do recurso hídrico e agricultura onde os dados foram levantados por pesquisa bibliográfica e entrevistas; a segunda é o uso do solo que é feito por um modelo estatístico; a terceira é a parte hidrológica onde se utiliza um modelo hidrológico; e por último a demografia que utiliza as projeções para a região. O MAELIA é um modelo desenvolvido para pesquisa integrada com diversos cenários de manejo e solo e água na bacia hidrográfica, que permite simular interações espaço-temporais entre o sistema social e o sistema ecológico (THEROND et al., 2014). O MAELIA também serviu como inspiração para o desenvolvimento do modelo apresentado nesse trabalho.

## 4 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser descrita como a construção de um modelo multiagente com o objetivo de servir como uma ferramenta para auxiliar o processo de tomada de decisão no que tange à alocação de recursos hídricos. As fases da pesquisa podem ser divididas em: Caracterização Inicial; Concepção do Modelo; Implementação de Documentação; e Definição de Cenários. O fluxograma do trabalho pode ser visto na Figura 4-1 e fases da pesquisa serão detalhadas a seguir.

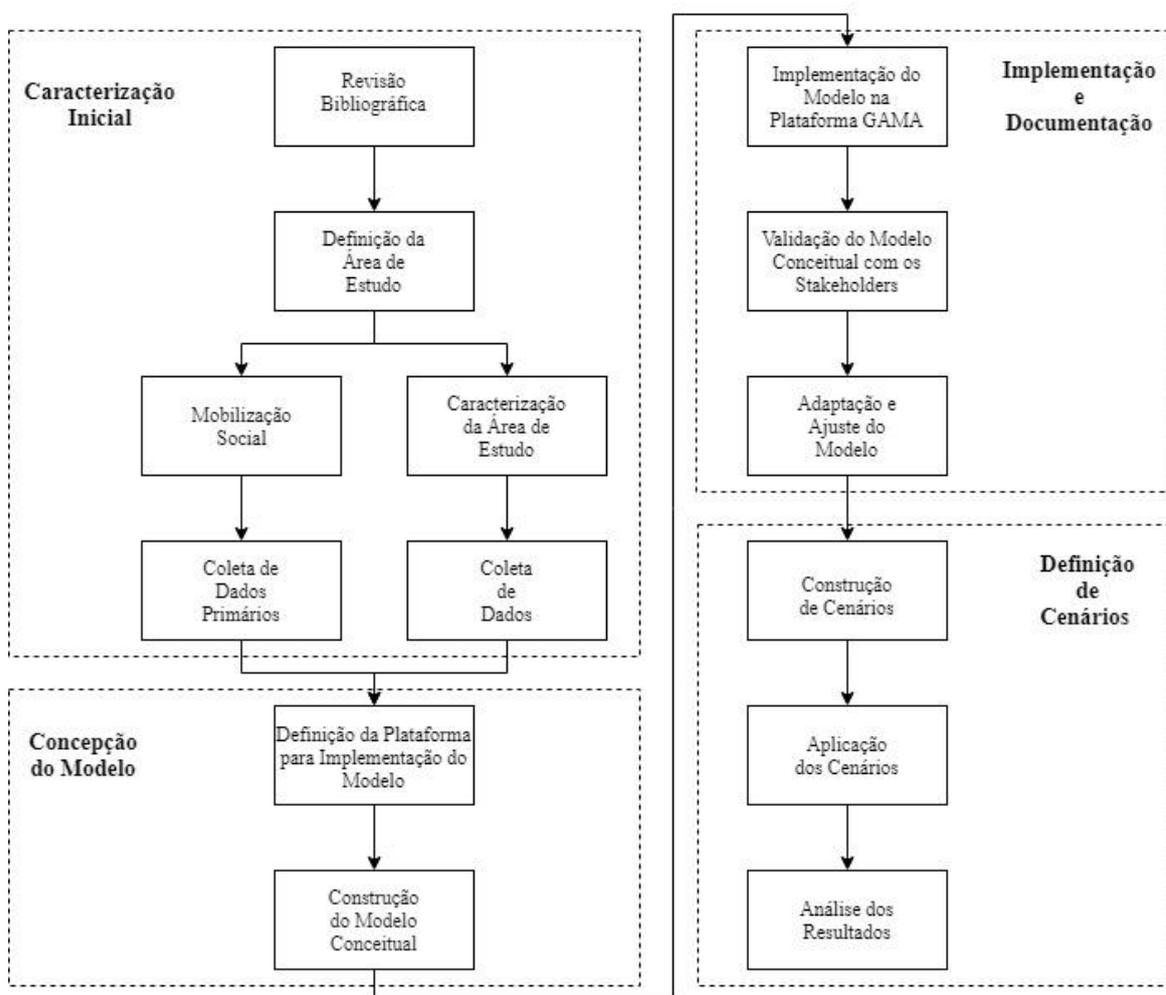


Figura 4-1 - Diagrama da metodologia adotada na pesquisa. Fonte: Elaboração do Autor.

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL

Inicialmente foi feita a revisão bibliográfica. Levantou-se a bibliografia sobre modelagem multiagente, suas aplicações e gestão de recursos hídricos. Ao assistir reportagens e vídeos que evidenciavam as condições e a importância da região, determinou-se a bacia hidrográfica do Rio Samambaia como área de estudo.

Em seguida fez-se uma mobilização social, onde diversos *stakeholders* foram contatados para verificar o interesse na participação do processo de modelagem. Assim que alguns *stakeholders* demonstraram interesse realizou-se a coleta de dados e informações juntamente com os interessados.

A caracterização da produção, socioeconômica e ambiental baseou-se em dados oficiais fornecidos pelos órgãos responsáveis e entidades atuantes na região, como Sindicato dos Produtores Rurais, Associação dos Irrigantes, Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, IBGE, SECIMA, ANA, imagens de satélite do Landsat8 fornecido gratuitamente pelo USGS (*United States Geological Survey*) e *shapes* do SIEG (Sistema Estadual de Geoinformação).

O município de Cristalina – GO, se localiza na mesorregião Leste de Goiás, dentro da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE). O município foi criado em 1916 e recebeu esse nome, pois a principal atividade econômica local era a extração e comercialização de cristal de rocha (FURQUIM, 2017). Na Figura 4-2 é possível visualizar o posicionamento do mesmo.



Figura 4-2 - Localização do município de Cristalina, Goiás. Fonte: Elaboração do Autor.

Com a construção de Brasília e programas governamentais fomentando o desenvolvimento da região centro-oeste, o cenário econômico local começou a se alterar. Diversos programas, com o objetivo de melhorar o abastecimento agrícola de Brasília incentivaram o desenvolvimento da agroindústria no município. O ambiente hidrológico favoreceu o uso da irrigação que foi o diferencial na estabilização da agricultura na região, possibilitando grandes produções de grãos. Devido a problemas com doenças nas lavouras de grãos, a produção local acabou se diversificando, iniciando assim a produção de hortifrúti no local (FURQUIM, 2017).

Em 2013, Cristalina estabeleceu uma posição de destaque na produção de alimentos do país. Classificou-se como o terceiro maior produtor do estado de Goiás e o oitavo maior produtor do país. Na Figura 4-3 pode-se perceber a importância da agropecuária na economia municipal (FURQUIM, 2017). Em 2014 o BNDES fez um levantamento sobre o desenvolvimento do centro-oeste que evidenciou a grande importância da produção agropecuária para a região, produção a qual é diretamente influenciada pela disponibilidade hídrica.

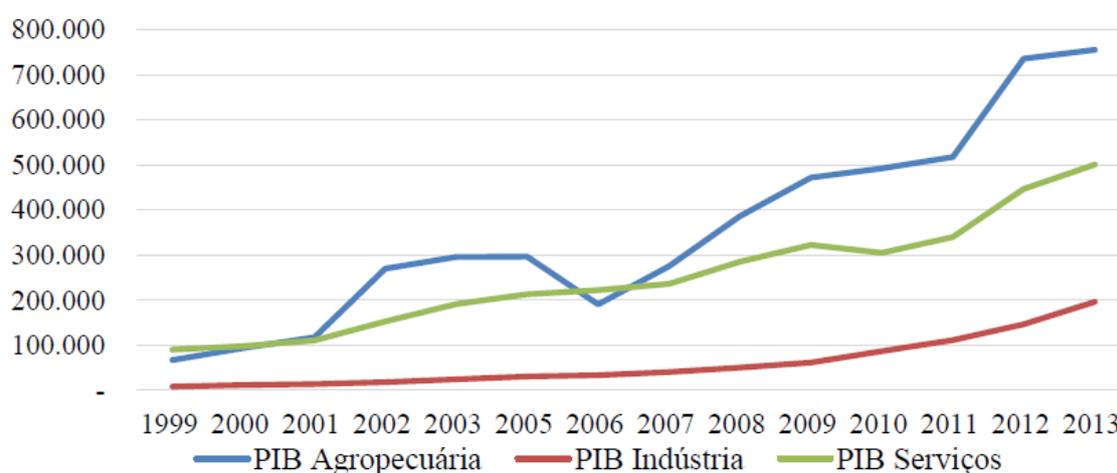


Figura 4-3 - PIB de Cristalina - GO (1999-2013) (FURQUIM, 2017, p. 29).

O município possui uma área de 616.000ha, tem 2.942 agricultores onde 147 são irrigantes. A agricultura de sequeiro ocupa uma área de 259.200ha, e no ano de 2015 gerou um PIB de 1,1 bilhão de reais e a irrigada ocupa uma área de 56.370ha, e no mesmo ano gerou um PIB de 1,056 bilhão de reais, com uma produção bastante variada, mas os principais produtos podem ser divididos em grãos (feijão, trigo, milho e outros) e hortifrúti (alho, batata, cebola, cenoura, beterraba e outros). Outro diferencial é que a agricultura irrigada emprega uma pessoa a cada nove hectares plantados, já a de sequeiro emprega uma a cada cem. Essa grande produção irrigada garante uma disponibilidade de matéria-prima de qualidade durante o ano todo, isso acaba atraindo grandes indústrias para o polo agroindustrial (FURQUIM, 2017). Na Figura 4-5 pode-se visualizar como é distribuída a produção no local.

O município se encontra dentro da bacia do rio Paranaíba, o CBH responsável pela região é o CBH Paranaíba com sede em Itumbiara – GO. Recentemente foi criado o CBH dos Rios Corumbá, Veríssimo e Porção Goiana do Rio São Marcos, que age como uma

subdivisão da CBH Paranaíba (o município está dentro do segundo CBH citado), mas ainda não está exercendo nenhuma operação. A abrangência do CBH Paranaíba pode ser visualizada na Figura 4-4.

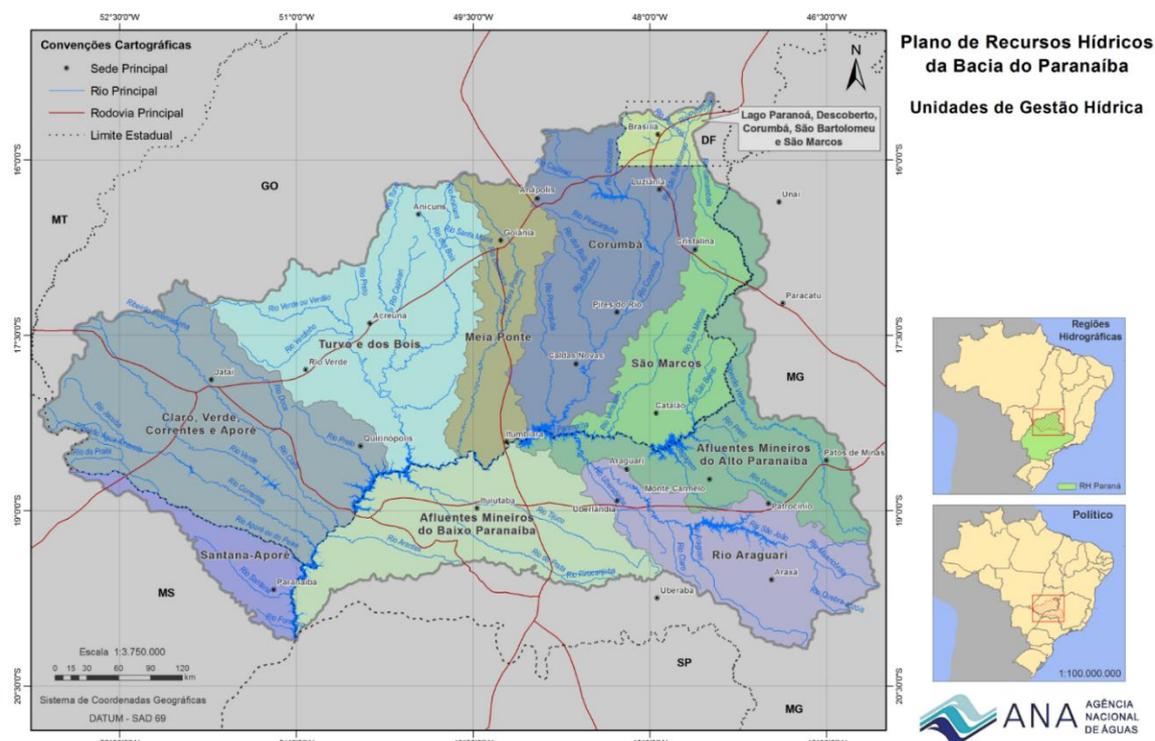


Figura 4-4 - Área de atuação da CBH Paranaíba (ANA, 2015)

No ano de 2015 a ANA, publicou o Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Segundo o PRH a agricultura irrigada na bacia do São Marcos apresenta uma área de aproximadamente 50 mil ha. A vazão com 95% de permanência mensal no exutório da barragem de batalha (à jusante do rio Samambaia) é de 23 m<sup>3</sup>/s. Barragem na qual em sua outorga limita as retiradas de água à sua montante. Depois de diversas reuniões aumentou-se esse limite de acordo com o previsto na legislação (aumento de 5%) conforme a Resolução ANA N° 562 de outubro de 2010. Apesar do aumento, essa limitação ainda gerava um conflito com os irrigantes da bacia, uma vez que o limite outorgável é inferior à demanda da agricultura.

No PRH os principais usos concorrentes identificados foram a captação e a diluição de efluentes, e isso pode potencialmente causar novos conflitos. No final do PRH há recomendações para os diversos setores, na agricultura é salientado que é uma atividade expressiva na bacia hidrográfica e que tem um grande potencial de desenvolvimento.

Também se ressaltou a necessidade de elaboração de Planos diretores de Irrigação. Na bacia do São Marcos foram apontados diversos pontos onde a demanda supera a disponibilidade, isso ocorre devido a irrigação. A bacia do Rio Samambaia foi definida como trecho de especial interesse para a gestão de recursos hídricos. (ANA, 2015).

No PRH uma das diretrizes para outorga do uso de água da bacia é “Critérios para a minimização de conflitos entre empreendimentos hidroelétricos e outros usos” e isso mostra claramente que resolução de conflitos com o setor hidroelétrico é uma prioridade na bacia.

Quanto à cobrança pelo uso dos recursos hídricos, apontou-se que o seu mecanismo e o uso cobrado devem observar as especificidades de cada região. É de competência do CBH propor o preço da água que leve em conta tudo isso e ainda propiciem a recuperação da bacia. É indicado que o mecanismo de cobrança deve ser instalado de forma gradativa (ANA, 2015).

Conforme a Deliberação nº 61 de 10 de março de 2016, estabelecida pela CBH do Paranaíba, que dispõe sobre mecanismos e valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, a cobrança pelo uso da água na bacia do Paranaíba se iniciaria em janeiro de 2017.

Na Deliberação nº 61 (CBH PARANAÍBA, 2016) ficou estabelecido os valores e os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União na área de atuação do CBH Paranaíba. Em seu Anexo I demonstrou-se as equações em que o valor da cobrança será baseado, onde cada tipo de uso e cada tipo de usuário terão suas ponderações para o incremento do valor. No seu Anexo II ficam estabelecidos os preços base, que são incrementais durante os cinco primeiros anos, o preço para a captação por m<sup>3</sup> (sem as ponderações) começa com R\$ 0,015 e no último ano chega a R\$ 0,025. Para o lançamento de carga orgânica esse preço é baseado no quilograma (Kg) de DBO<sub>5</sub> começando em R\$ 0,07 e indo até R\$ 0,13.

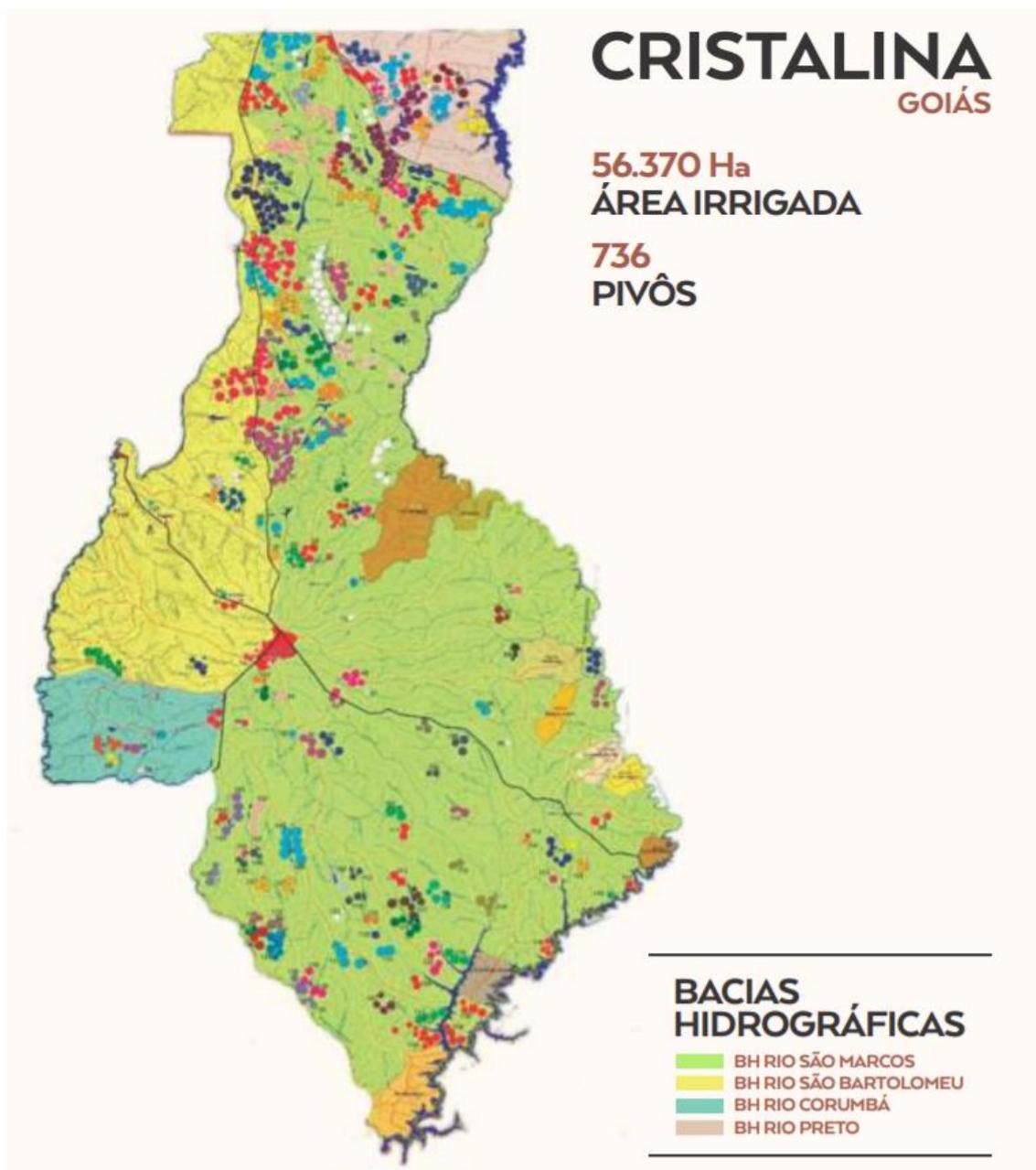


Figura 4-5 - Bacias Hidrográficas e distribuição de pivôs (IRRIGO, 2016b, p. 9)

No ano de 2012 a ANA criou a Comissão Especial de Acompanhamento (CEA) para a elaboração do plano de ações para superação de conflitos. O CEA tem ações previstas para 2012-2020, dentre elas estão o levantamento por meio de imagens de satélite da área irrigada; determinação da área irrigável; cadastramento e regularização dos usuários; monitoramento orientado para gestão; e organização dos irrigantes (ANA, 2017b).

Levantou-se em reuniões, com os representantes dos usuários de água da bacia do Rio Samambaia, as características básicas do consumo de água, e identificou-se fatores que afetam o consumo. Por ser uma bacia onde a grande maioria dos usuários são agricultores

de grande escala, os principais fatores que afetam o consumo de água são os mesmos que determinam demanda hídrica da plantação (fatores climáticos). A quantidade de água utilizada na plantação é um dos critérios utilizados no modelo para os usuários escolherem novas plantações.

A Bacia do Rio Samambaia tem a área de 880 Km<sup>2</sup> e tem 20.000ha de área irrigada. Os usos da bacia já estão bem estabelecidos, não há perspectiva de diversificação. O único uso da bacia é a irrigação e há uma pressão para o aumento da área irrigada. Existem eventuais conflitos entre os usuários. Um diferencial dessa bacia é que as lideranças estão preocupadas com a sustentabilidade da irrigação e a criação da associação de irrigantes do estado de Goiás (IRRIGO) veio no sentido de garantir a gestão compartilhada das águas do estado (ANA, 2017). Na Figura 4-6 é possível ver a localização da bacia do Rio Samambaia. Cristalina conta com a maior área irrigada por pivô central da América Latina (IRRIGO, 2016a).

Hoje em dia a Irrigo vem mobilizando os irrigantes de todo o estado e produzindo uma série de materiais para a conscientização e capacitação dos irrigantes e para a divulgação geral dos benefícios do setor. Além disso, representa o interesse dos irrigantes de Goiás nos diversos eventos do setor.

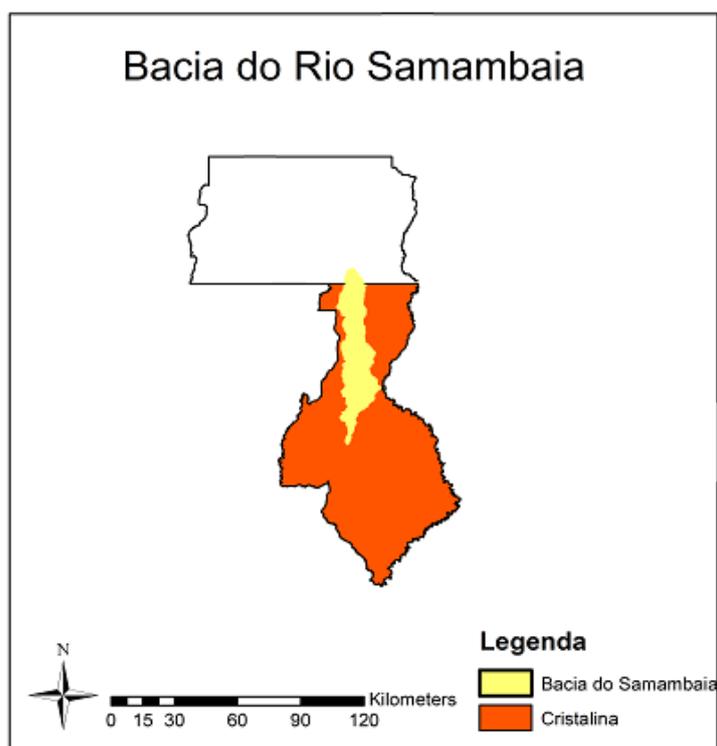


Figura 4-6 - Bacia do Rio Samambaia. Fonte: Elaboração do Autor.

Como é possível visualizar na Figura 4-6, o norte da bacia está dentro do território do DF, logo a calha principal do Rio Samambaia e o Córrego do Rato estão sobre responsabilidade da ANA, as demais Drenagens ficam sobre a tutela da Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos de Goiás (SECIMA), que em 2019 passou a ser denominada como Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD).

Usando como base as imagens de agosto de 2017 do satélite do LandSat8, realizou-se a identificação manual de possíveis pontos de pivôs de irrigação. Identificou-se 242 pontos, visualizados na Figura 4-7.

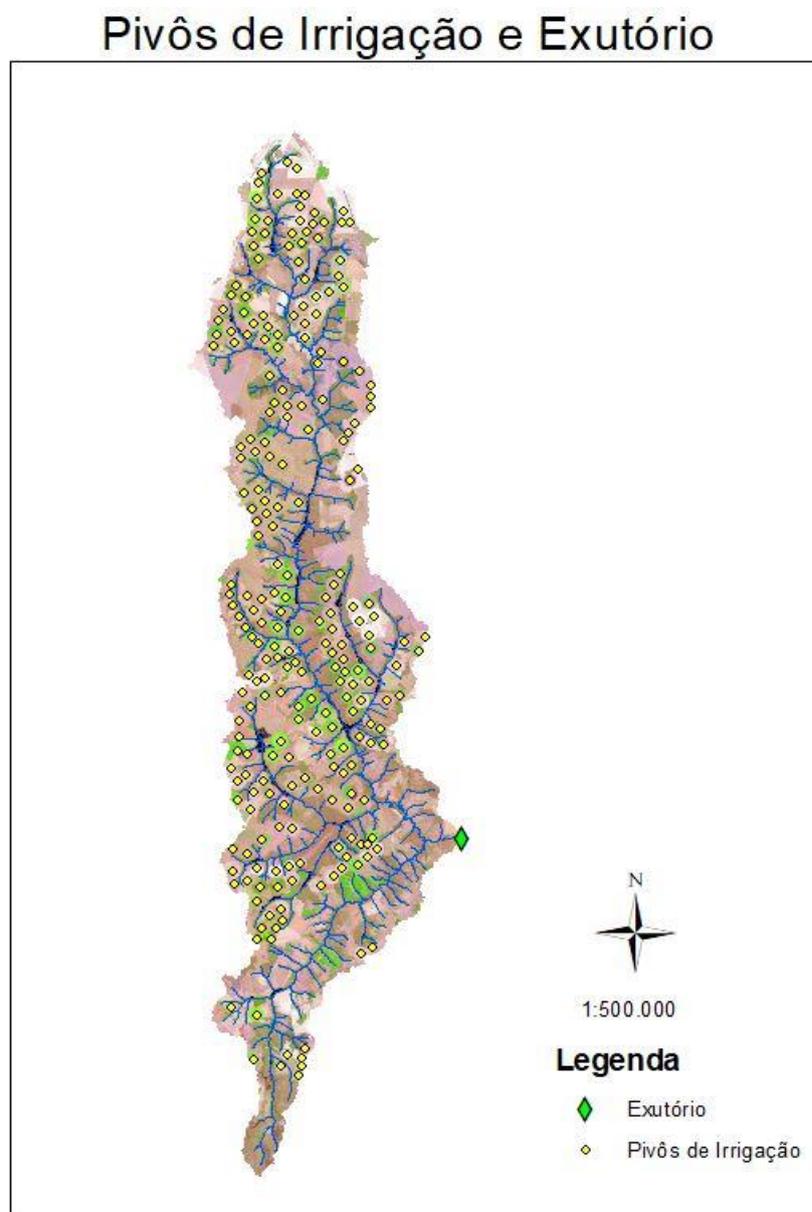


Figura 4-7 - Pivôs de Irrigação localizados na bacia Samambaia. Fonte: Elaboração do Autor.

Com relação às outorgas de uso, a SECIMA tem registrado 64 pontos de outorga para barramento (Figura 4-8), com apenas dois (2) pontos de outorga para a captação direta, os quais se sobrepõem a pontos de outorga para barramento. A ANA tem 87 outorgas registradas, a grande maioria é para a irrigação usando pivôs centrais, a disposição dessas outorgas pode ser visualizada na Figura 4-9.

Logo de início pode-se ver a disparidade entre os números de outorgas e o número de pivôs centrais, nos quais se observa 153 outorgas e 242 pivôs de irrigação. Esse fato pode não indicar necessariamente um elevado número de usuários não registrados no sistema, o que geraria um desequilíbrio no sistema de gestão e complicaria ainda mais a situação do local, pois uma captação outorgada pode atender mais de um pivô, mas essa disparidade não pode ser ignorada e deve ser monitorada pelos órgãos de gestão.

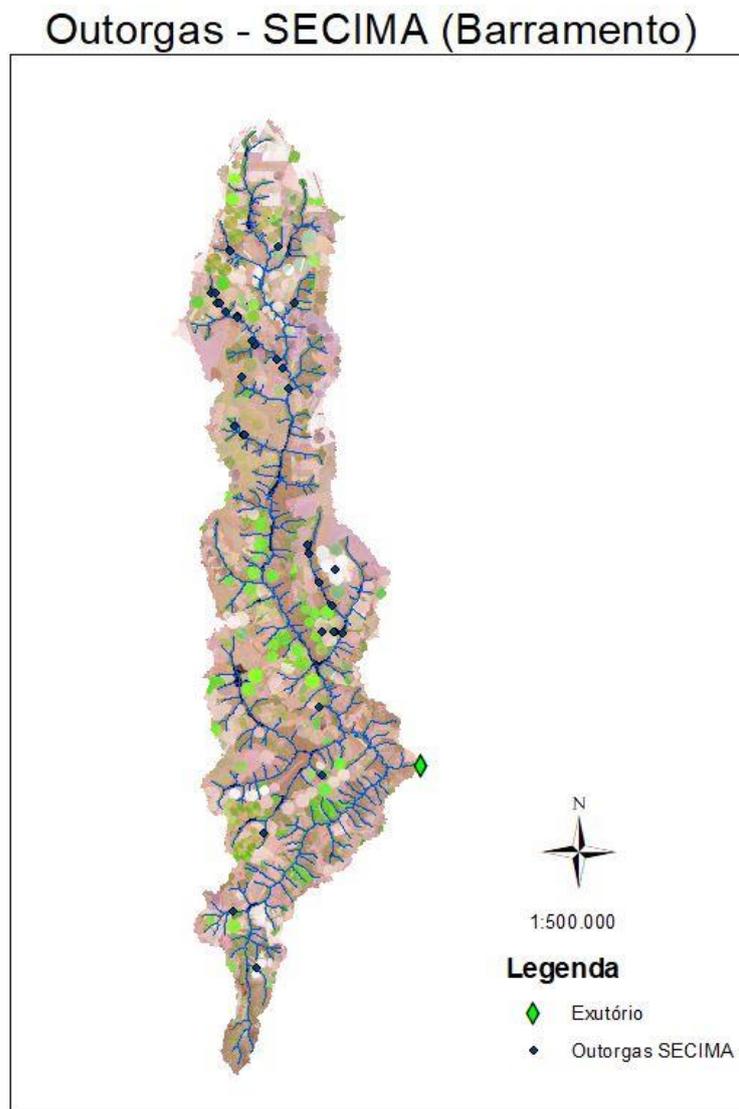


Figura 4-8 - Outorgas de uso de água na Bacia Samambaia. (SECIMA, 2019)

## Outorgas - ANA (Captação Direta)

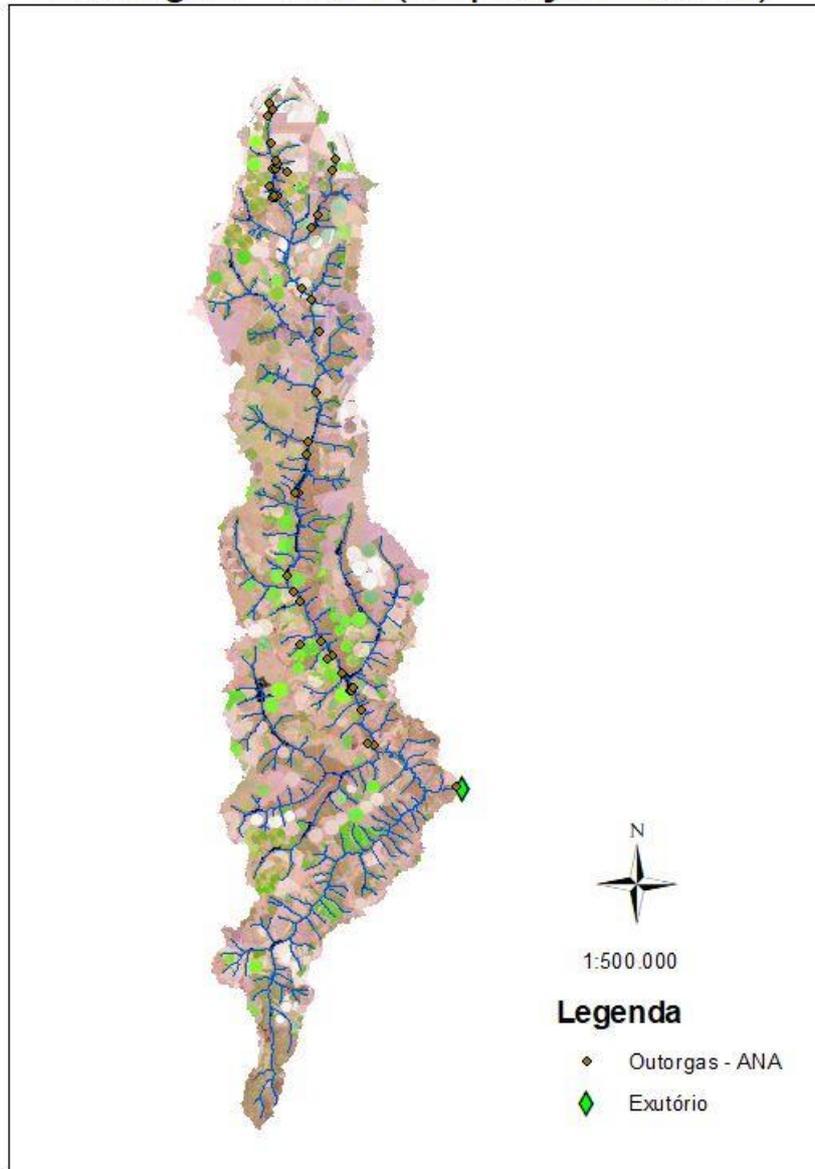


Figura 4-9 - Outorga de uso de água na bacia Samambaia. (ANA, 2019)

No ano de 2018 a FAO fez um estudo, para identificar áreas prioritárias para o desenvolvimento da agricultura sustentável. E ao selecionar essas áreas, se considerou critérios ambientais, disponibilidade hídrica, infraestrutura e condições técnicas e de aptidão. Devido ao stress hídrico, que conseqüentemente afeta a disponibilidade hídrica, a região da parte alta da Bacia do Rio Paranaíba ficou de fora da seleção da FAO.

Devido à grande importância da região e aos trabalhos técnicos já realizados no local, a Bacia do Rio Samambaia foi selecionada para ser modelada. O CEA já havia feito estudos e levantamento na região, e também já havia conseguido certa articulação com os produtores no local. Tudo isso facilitou no desenvolvimento do modelo multiagente.

Conflitos envolvendo o uso da água também foram abordados na caracterização da área, situações de conflitos entre os usuários da bacia foram levantados com os órgãos representantes dos usuários locais. O principal conflito é entre agricultura irrigada e a produção de energia, esse conflito levou a diversas reuniões no comitê de bacia, onde a agricultura conseguiu aumentar os limites para a retirada de água, porém, a pressão para o aumento de sua disponibilização, na agricultura da região continua crescendo, conseqüentemente o risco de conflitos também cresce.

## **4.2 CONCEPÇÃO DO MODELO**

Para facilitar o processo de modelagem e deixar o modelo mais próximo da realidade local, este foi concebido com a participação dos “stakeholders”, partes interessadas, conforme recomendação de Schmolke et al. (2010), e a cada nova versão do modelo eram realizadas novas reuniões para coletar feedback e prosseguir com o desenvolvimento do modelo. O passo a passo da criação do modelo foi baseado em procedimento descrito por Akhbari & Grigg (2013).

Na fase inicial, cumpriu-se levantar os conceitos básicos e aplicações da modelagem multiagente - as possíveis plataformas para a implantação do modelo, e definiu-se que a plataforma GAMA seria utilizada. Ela foi selecionada após avaliação de fatores como: possuir funcionalidades de geoprocessamento e por disponibilizar apoio técnico por meio dos fóruns de usuário ativos.

Assim que definida a plataforma, iniciou-se os estudos sobre a linguagem de programação (GAML). Todos os tutoriais disponíveis do site oficial (<https://gama-platform.github.io/>) foram executados. Realizou-se uma reunião com os stakeholders para apresentar o projeto e coletar informações iniciais, em seguida se deu início a um modelo simplificado para apresentação na próxima reunião, com o passar do tempo o modelo foi ficando cada vez mais complexo, onde a cada versão eram adicionadas novas funcionalidades até chegar a versão final.

Diversos órgãos e entidades atuantes na área foram contatados e apresentaram interesse em cooperar com os estudos. Como representante dos usuários obteve-se a Irrigo (Associação dos Irrigantes de Goiás) e o Sindicato dos Produtores Rurais de Cristalina; e como representantes dos órgãos de governo teve-se a ANA, a SECIMA, a Secretaria

Municipal de Meio Ambiente e Embrapa Cerrados; como órgão colegiado obteve-se o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

Dos órgãos citados os que tiveram envolvimento direto na produção do modelo foram a ANA, a Irrigo, o Sindicato Rural e a Secretaria de Meio Ambiente. Esses órgãos eram consultados periodicamente para a apresentação de novas versões do modelo e coletar *feedback*. Após as reuniões fazia-se novas alterações e implementações no modelo. Esse ciclo se repetiu até a sua finalização, quando o modelo final foi considerado satisfatório.

As reuniões com a ANA aconteceram no edifício sede do órgão em Brasília e as reuniões com os demais *stakeholders*, na sede do sindicato rural em Cristalina. Devido a dificuldade com a agenda e com deslocamento, as reuniões para a apresentação do modelo e coletas *feedback* foram feitas separadamente em Brasília e em Cristalina. As reuniões aconteceram em datas próximas e tratavam de apresentar as mesmas versões do modelo para as duas partes.

A cada patamar que o modelo chegava fazia-se uma reunião com os stakeholders para coletar *feedback* e continuar o processo de construção do modelo, buscando sempre manter uma participação dos *stakeholders* no seu processo de construção. No processo de construção do modelo fez-se um total de sete reuniões, onde quatro foram com a ANA e três com os representantes dos usuários da bacia.

Na primeira reunião feita na ANA levantou-se a ideia de incorporar ao modelo os dados de preço de venda das lavouras, chuva e escoamento. Na segunda reunião no sindicato rural se definiu os principais tipos de plantação da bacia e determinou-se a utilização de dados para a caracterização (como demanda de água e custos de produção) de cada tipo delas. As primeiras reuniões foram extremamente importantes para definir as bases do modelo e como seria conduzido esse processo de modelagem.

Apresentou-se o modelo final para os *stakeholders*, eles se mostraram interessados nas possibilidades que a ferramenta poderia abrir. No modelo final rodou-se diferentes cenários para exemplificar suas utilidades. Assim, reportou-se e se analisou os resultados dos cenários nesse trabalho.

### 4.3 IMPLEMENTAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO

Para fazer a descrição e documentação de um modelo multiagente Grimm et al. (2006) desenvolveram um protocolo padrão conhecido como ODD (*Overview, Design concepts e Details*), em 2010 esse protocolo foi revisado e atualizado (GRIMM et al 2010). Desde a sua criação ele tem sido muito utilizado e apresenta uma grande aceitação no meio acadêmico.

Outro detalhe importante para a documentação de um modelo são os diagramas UML (*Unified Modeling Language*). O UML é uma linguagem simples que procura representar o modelo em diagramas. Para a representação do modelo desse trabalho foram feitos os diagramas UML de classes e de atividades.

Antes de apresentar o ODD e os diagramas UML do modelo, segue a Figura 4-10 com a imagem da *interface* onde ocorre a simulação, no GAMA esse tipo de simulação é chamada de experimento tipo GUI. Na primeira coluna da esquerda pra direita, no display de cima temos um gráfico em série e um histograma demonstrando a disponibilidade e a demanda hídrica para toda a bacia. Na parte inferior da *interface*, apresenta-se um histograma com a disponibilidade e a demanda hídrica de cada sub-bacia. Na coluna do meio ilustra-se com o mapa da bacia do Rio Samambaia, a localização de cada pivô de irrigação. Na última coluna da direita no primeiro display de cima observa-se monitores que apresentam a quantidade de área sem irrigação, a disponibilidade hídrica diária, a demanda hídrica diária e a chuva. Abaixo há os dados sobre os tipos de plantação como quantidade total produzida em quilogramas, área total para a produção e unidades de pivôs produzindo. E por último, no canto inferior direito se vê os dados de receita, um gráfico em série mostrando a geração de receita no tempo e um gráfico em pizza demonstrando a distribuição da receita entre os agentes agricultores.

Fez-se a validação do modelo juntamente com os *stakeholders*, onde todos os processos modelados baseou-se nas informações coletadas nas reuniões (item 4.2) e a cada etapa de evolução do modelo se fazia novas reuniões para coletar mais informações e realizar as adaptações e ajustes no modelo.

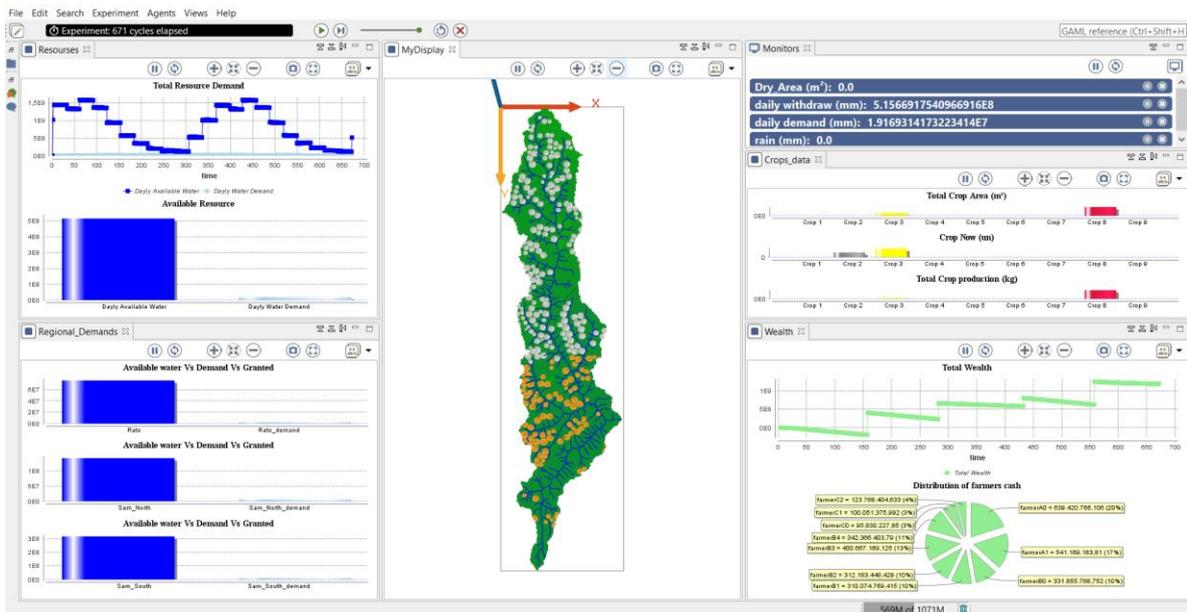


Figura 4-10 - Display com interface para usuário. Fonte: Elaboração do Autor.

Todos esses displays podem ser customizados visualizados em qualquer ordem.

Para a execução de diversas simulações consecutivas o GAMA tem a opção de criar um experimento tipo Batch, onde não há *interface* para o usuário, somente apresenta os dados que previamente programados para ser salvos anteriormente, a série de simulações. Esses dados podem ser salvos em arquivos.csv e posteriormente utilizados para análises estatísticas.

Todos os arquivos e documentação referentes a esse modelo estão disponíveis no *Open ABM* (<https://www.comses.net/>), que é um site que funciona como repositório de modelos multiagentes, os arquivos poderão ser utilizados e verificados. O site também oferece a opção de certificar os modelos disponibilizados lá, dando a garantia de que a documentação sobre o modelo é satisfatória. Para ter acesso aos arquivos utilizados nesse trabalho basta acessar o link <https://www.comses.net/codebases/47ded80a-75a1-4cca-b939-b7c7a4b58dc7/releases/1.0.0/>

### **4.3.1 PROTOCOLO ODD**

#### **4.3.1.1 Propósito do Modelo**

O propósito do modelo é servir como uma ferramenta para auxiliar a exploração de cenários de alocação e políticas de manejo de recursos hídricos. Dando suporte a uma gestão conjunta e facilitando cooperação entre os usuários.

#### **4.3.1.2 Entidades, variáveis e escalas**

Cada etapa do modelo é equivalente a um dia e ele é programado para pausar depois de 3600 dias (aproximadamente dez anos), o ambiente onde os agentes ficam localizados é um *shapefile* da bacia do rio Samambaia. O modelo contém seis tipos de agentes. Eles podem ser divididos em passivos e ativos, onde os passivos somente disponibilizam informação para os ativos realizarem suas atividades. Os passivos são água, clima, mercado e data. Os agentes ativos são produtores e pivôs “*cropfields*”.

Criou-se no começo da simulação, dez agentes agricultores dos quais, dois são produtores A (mais ricos), cinco B (médios) e três C (menores). Para cada produtor C há dez pivôs, B possui trinta e o A tem cinquenta. Respeitando a proporção levantada de grande, médio e pequeno produtor, por um estudo prévio da ANA (ANA, 2017b). O cash inicial de cada um é definido como a área total dos pivôs (m<sup>2</sup>) multiplicado por 0,1, que representaria o valor de R\$1.000,00 por hectare de área de pivô, valor somente utilizado como ponto de partida para cada produtor fazendo com que o montante inicial seja proporcional à quantidade de terra possuída.

Os produtores - C foram criados nos arredores da sub-bacia do Córrego do Rato, B na sub-bacia do Samambaia Norte e A na sub-bacia do Samambaia Sul, fato que foi levantado em uma das reuniões, onde apontou-se que os usuários com menores quantidades de pivôs ficariam mais concentrados no Córrego do Rato, aqueles com quantidade média de pivôs no Samambaia norte e os com maior quantidade no Samambaia sul. São três (3) produtores C com 10 pivôs cada, cinco (5) B com 30 e dois (2) A com 50.

Primeiro criou-se na simulação, os agentes produtores C, depois os B e por fim os A. Devido a essa ordem o último agente criado (*farmerA1*) ficou com 48 pivôs ao invés dos 50 mencionados, isso acontece por não haver um número redondo da quantidade de pivôs.

Cada área de pivô é uma célula do arquivo “*shapefile*”, que no modelo é chamado de campo de cultivo “*cropfield*”.

No modelo é considerado que todos os produtores têm a mesma tecnologia de irrigação e a mesma eficiência. Toda água captada é utilizada nas plantações, logo o aproveitamento da água é de 100%. Não há diferenciação entre os tipos de usuários nesse quesito.

Os três tipos de produtor têm pesos diferentes nos critérios para a escolha das novas plantações, os critérios são: preço de venda da produção; preço de manutenção da plantação e preço por unidade de água utilizada, no caso preço de irrigação. Esses critérios foram levantados nas reuniões com os representantes dos usuários, e para fazer uma diferenciação entre o comportamento de cada tipo de usuário determinou-se faixas de preferência diferentes para cada tipo de produtor. Assim assumiu-se que o grande produtor tem um pensamento mais calculista e tem o mesmo peso em todos os critérios, o médio produtor tem um pensamento que visa mais a quantidade de dinheiro obtida na venda e acaba negligenciando um pouco os gastos. Por fim, o pequeno produtor que se preocupa mais com os gastos que com o preço final de venda, tem a preocupação em saber se conseguirá pagar as contas. Essa diferenciação foi apresentada nas reuniões e não houve objeções para usá-la como forma simplificada de representar comportamentos diferentes no modelo. Apesar de existir alguns arrendatários no local, no modelo foi considerado que todos os agentes produtores são donos dos seus pivôs.

Os agentes produtores têm ações, que são realizadas apenas, quando são chamadas, “actions”: a primeira é “*update\_farmercrop*”, que é realizada quando o produtor não tem a lavoura definida (*farmercrop* = 0); e é chamada após a finalização do “*croptime*”, logo após as células (áreas com pivô de irrigação, “*cropfield*”) venderem a produção, que é feita pela outra ação “*sell\_crop*”, na qual o produtor pede, para cada célula executá-la dentro do *cropfield*).

No “*update\_cropfield*” pergunta-se para o agente “calendário” quais as opções de possíveis plantações no mês, o produtor pega todas as opções e pede para as células calcularem a melhor opção, onde são considerados o valor de venda da lavoura, seu custo de manutenção diário e custo com água/irrigação. O cálculo realizado é:

$$prospect_{crop} = (prospect_{sellvalue} \times sellv_{index}) - (prospect_{upcost} \times upcost_{index}) - (prospect_{wcost} \times wcost_{index})$$

O maior valor resultante da venda menos os custos (considerando os pesos) é escolhido, os valores dos custos de venda da lavoura e gastos com a água são feitos baseados no dinheiro gasto/ganho em um dia de produção em 1m<sup>2</sup>. Existe uma limitação para que não se possa escolher, o mesmo tipo de plantação, duas vezes seguidas, esse fator é baseado em questões fitossanitárias onde é contraindicado esse tipo de ação e no caso da soja é proibido por lei.

O agente “água” é criado para cada sub-bacia, no qual o seu formato é o do *shapefile* da sub-bacia. Para calcular a vazão disponível para os usuários utilizou-se a Q<sub>95</sub> da Nota Técnica nº 132/2010/GEREG/SOF-ANA (ANA, 2010), na qual se apresentou vazões para cada sub-bacia (Córrego do Rato, Samambaia norte e Samambaia sul) mensalmente em l/s/km<sup>2</sup>. Vale ressaltar que as vazões nos períodos de seca são bem representadas, mas nos períodos de cheia elas são superestimadas. Cada agente funciona como um reservatório e fornece água para os pivôs localizados em sua área e diariamente é recalculado o valor disponível para a utilização.

Para os dados do agente “clima” considerou-se a estação Cristalina TRMM.2738 do site <http://www.agritempo.gov.br> como geral para toda a bacia (todas as séries históricas utilizadas no modelos são de 2008 a 2017, dez anos). Os dados de temperatura são utilizados para calcular o ETo (evapotranspiração base) necessário para calcular a demanda hídrica da plantação. A chuva total do mês é distribuída de forma que cada dia há uma chance de 50% de ocorrer um evento de chuva, caso ocorra o evento chuvoso um valor aleatório (de zero até o total mensal) é subtraído do total mensal. Esse processo ocorre diariamente até que o total do mensal zere ou o mês acabe, com o novo mês um novo total mensal é atribuído.

Para o cálculo do ETo utilizou-se a equação de Hargreaves Samani e que foi calibrada para a região de Cristalina por Fernandes et al. (2012). Determinou-se o HC como 0,00084 e HE como 0,96, o R é considerado com 0,5.

$$ET_{oHG} = 0,408HCR_a (T_{max} - T_{min})^{HE} \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17,8 \right)$$

A evapotranspiração é calculada como  $ETo$  multiplicado pelo coeficiente de cultura ( $kc$ ) multiplicado pelo coeficiente do solo ( $ks$ , nesse caso considerado como 1), esse cálculo é feito por cada agente pivô que esteja com plantação ativa diferente de zero) e é calculado diariamente enquanto houver plantação ativa dentro do pivô.

O agente “calendário” disponibiliza os tipos de plantação para cada mês, juntamente com as características de cada plantação. São 10 tipos de plantação que o produtor pode escolher, mas a cada mês essa disponibilidade muda, e estes tipos não ficam todos disponíveis no mesmo mês. Os 10 tipos são: (zero) 0 (área sem plantação), (um) 1 (soja), (dois) 2 (milho seco), (três) 3 (algodão), (quatro) 4 (feijão), (cinco) 5 (batata), (seis) 6 (alho), (sete) 7 (cebola), (oito) 8 (tomate) e (nove) 9 (trigo). Esses tipos de plantação foram levantados nas reuniões com os representantes dos usuários.

As características disponíveis de cada *farmercrop* são:  $Kc$  (valor utilizado para determinar a demanda hídrica, e é subdividido em  $kc1$ ,  $kc2$ ,  $kc3$  e  $kc4$  um para cada fase do desenvolvimento da planta); tempo de duração da produção e duração de cada fase da vida da planta ( $f1, f2, f3, f4$ ); produção da plantação, que informa quantos kg são produzidos em  $1m^2$ ; custo de produção, para dar o custo de produção de um  $1m^2$  da determinada plantação (esse custo é diluído por dias, quando é feito o cálculo de custo diário); a sensibilidade de depreciação da produção em função da falta de água na qual foi verificada a produção irrigada e sem irrigação e definido que onde não houvesse falta de água a produção seria similar à produção sem irrigação. Quanto mais água faltar mais a produção chegaria próxima ao cultivo de sequeiro; e por fim a textura de cada plantação (apenas para representar cada plantação com uma imagem do tipo de planta produzida).

Retirou-se os dados de  $Kc$  e duração da plantação do Relatório Técnico – Análise da Resolução ANA 562/2010 – Marco Regulatório Rio São Marcos, páginas 30 e 31 respectivamente (MONTEPLAN, 2011). Os dados de custo de produção e quantidade produzida foram retirados de fontes diversas, mas deu-se preferência para dados mais recentes calculados para a região centro-oeste (2018).

Outro custo importante é o custo para suprir a necessidade de água da plantação, o custo com irrigação. Esse custo é calculado diariamente e leva em consideração a precipitação do dia e as temperaturas máximas e mínimas do mês. A demanda é determinada fazendo uma subtração da chuva do dia com a necessidade hídrica da

plantação, quando a chuva não supre a necessidade da plantação é feita a retirada do rio (onde é calculado o custo de bombeamento).

Da *internet* se retirou as imagens utilizadas como textura de cada tipo de plantação. A lista de tipos de plantação disponível a cada mês foi baseada no calendário agrícola do Goiás desenvolvido para uso interno do Instituto de Fortalecimento da Agropecuária do Goiás – IFAG em 2018. Alguns tipos de plantação que não constavam no calendário do IFAG tiveram seus períodos de plantação consultados em sites, com relevantes informações agrícolas.

Utilizou-se para o agente “mercado”, os preços disponíveis em [www.agrolink.com.br](http://www.agrolink.com.br). E, considerou-se a cotação nacional, para todos os tipos de série, por apresentar uma melhor consistência, pois existiam plantações que não apresentavam dados de preço para o estado de Goiás. Todos os preços apresentavam unidades diferentes (saco de 60kg, saco de 50kg, saco de 15kg, etc.), todos os valores foram convertidos para preço por kg.

Algodão, alho, batata e tomate apresentaram falha nos dados, principalmente no início da série. Utilizou-se para preencher a série, dados de preço do mesmo mês do ano mais próximo, com a informação (ano posterior ou anterior).

Os preços consultados foram: soja, saco de 60kg; milho, saco de 60kg; algodão em pluma de 15kg; feijão carioca, saco de 60kg; batata, saco de 50kg; alho, 1kg; cebola nacional, saco de 50kg; tomate, 1kg; e trigo em grão nacional, saco de 60kg.

A venda da produção é feita quando acaba o tempo total da plantação, o preço é calculado com:

$$\text{Área}_{total}(m^2) \times \text{Valor}_{venda}(R\$/Kg) \times \text{Produção}(Kg/m^2) \times \left(1 - \frac{\text{Depreciação}}{100}\right)$$

Dessa maneira é descontado eventual período sem água na produção final, consequentemente diminuindo o valor recebido. A depreciação era feita comparando a produção da plantação irrigada e no sequeiro, onde se houvesse água para a irrigação durante todo o período da lavoura a produção final seria equivalente a 100% da produção irrigada. Mas, se faltasse água para a irrigação a sua produção final iria decaindo proporcionalmente aos dias sem irrigação até chegar ao nível produção do sequeiro, que é uma produção menor que a irrigada. Para alguns tipos de plantação a falta de água em

períodos críticos pode arruinar toda a produção, mas esse tipo de detalhe não foi levado em consideração.

Os agentes *cropfield* representam as áreas com pivôs de irrigação, ele é feito a partir de um arquivo elaborado pela Coordenação de Agronegócio da Secretaria de Estado da Fazenda – Sefaz, sobre os pivôs de irrigação em 2016 e disponível no site do SIEG (<http://www.sieg.gov.br/>) com a delimitação de cada pivô.

O pivô calcula diariamente a demanda de água da cultura ( $wdem$ ) com:

$$wdem = ETo \times Ks \times Kc \times field_{area}$$

Ele consulta o tempo para ver os dados do clima. A demanda de água é diminuída da chuva do dia, o restante é retirado da bacia hidrográfica, então, calcula-se o custo da água (preço de bombeamento \* quantidade e água), caso não haja mais água para retirar começa a contar o contador de depreciação, se a plantação ficar sem água todos os dias do plantio à colheita, a produção será a mesma de uma plantação em sequeiro. O preço de bombeamento e o preço de manutenção, por dia consultado no calendário é repassado para o produtor, para que ele subtraia esses valores do seu caixa.

Uma ação importante é o prospecto, que é executada quando o produtor quer escolher uma nova plantação, onde ele vai testar todas as opções disponíveis no mês e como seria a produção de cada uma. Ele consulta o preço de venda do dia no mercado, para ver por quanto venderia a produção, consulta o clima pra ver qual seria a demanda hídrica da plantação considerando os dados do mesmo período do ano anterior e a disponibilidade de água da bacia, e por fim o preço de manutenção da plantação. O produtor vai escolher com base nesses valores.

E a última ação é vender a produção, que ocorre quando acaba o tempo de uma plantação. O pivô consulta o mercado, para calcular o preço e na sequência realizar a venda. Depois da venda o ciclo se inicia novamente onde o produtor vai escolher qual o tipo da sua próxima plantação.

### **4.3.1.3 Conceitos de *design***

#### **4.3.1.3.1 Princípios básicos**

Utilizou-se para gerar as vazões disponíveis aos usuários, os mesmos dados utilizados pela ANA, para a outorga de uso de recursos hídricos. Para os dados sobre as características de cada plantação foram utilizadas fontes indicadas pelos representantes dos usuários, o mesmo foi feito com os dados de preço. Já, para o conhecimento das demandas de água das plantações fez-se uso de equações, bastante conhecidas e simplificadas. Os critérios para escolha de novas plantações criou-se com base nas reuniões com os representantes dos produtores.

#### **4.3.1.3.2 Fenômenos emergentes**

Os agentes produtores vão reagir a diferentes cenários de disponibilidade de água e de chuva (políticas, manejos ou externalidades adversas), isso vai impactar diretamente a produção de riqueza, a distribuição de receita, consumo de água e os tipos de plantações produzidas na bacia.

#### **4.3.1.3.3 Aptidão (*fitness*)**

Os agentes produtores sempre vão produzir o tipo de plantação que melhor atenda os seus critérios, diferentes condições do ambiente podem fazer com que diferentes tipos de plantação sejam escolhidos. Eles podem chegar a ter dinheiro negativo (representando dívidas), mas não morrem na simulação, podendo recuperar o dinheiro e ficar positivo novamente.

#### **4.3.1.3.4 Detecção**

Para decidir o próximo tipo de plantação os agentes produtores usam as informações sobre característica de cada plantação disponível: preço de manutenção no agente calendário, disponibilidade hídrica (agente água), chuva e temperatura ocorrida na mesma época do último ano (agente clima) e o atual preço de venda de cada plantação (agente mercado).

São três critérios utilizados para a escolha da nova plantação, o preço de venda da produção, o preço de irrigação estimada, e preço de custo de manutenção da plantação.

Todos os agentes produtores tem acesso a essas informações. Todos esses critérios são calculados para um metro quadrado, a melhor alternativa de plantação é replicada para toda área pertencente ao produtor.

#### **4.3.1.3.5 Interações**

O agente produtor administra os seus agentes pivôs e dá ordens para que eles executem interações com os outros agentes. Todas as etapas (*steps*) - os produtores pedem para os pivôs calcularem o custo de manutenção das plantações que estão nelas, esse custo é subtraído da quantidade de dinheiro do produtor, nessa mesma etapa é calculada a demanda hídrica da plantação, onde o agente “pivô” consulta o agente “clima” sobre informações de clima, aciona o agente “água”, para retirar água para irrigação e depois subtrai os custos de irrigação do agente “produtor”. No final do ciclo de vida da plantação, os produtores pedem para os pivôs venderem sua produção para o agente “mercado”. Para escolher a próxima plantação o agente “produtor” pede para um de seus pivôs, calcular os custos de produção, custos de irrigação e preço de venda de cada uma das plantações disponíveis, o melhor resultado de acordo com as suas preferências é replicado para todos os outros pivôs do mesmo produtor.

#### **4.3.1.3.6 Variabilidade**

Como elementos de variabilidade para representação das incertezas presentes temos a posição onde cada agente produtor irá nascer no início da simulação, isso afeta quais os pivôs os agricultores irão escolher como sua propriedade, pois essa escolha é feita baseada no pivô mais próximo que não tenha dono. Também temos variabilidade nos pesos dos critérios de escolha para o tipo de lavoura a ser plantada, cada tipo de produtor tem uma faixa de valores para atribuir peso aos critérios.

Cada critério de escolha por uma nova plantação tem seu peso, os critérios são preço de venda, custo de produção e custo de irrigação. Para cada critério assumiu-se três faixas de valores, uma para cada tipo de produtor - produtor A por representar um agricultor frio e calculista tem os pesos de cada critério por volta de um, o B representa um agricultor que visa mais o preço de venda, o C representa um agricultor que se preocupa mais com os custos e conseguirá arcar com os custos de produção e irrigação. A variação dos pesos pode ser visualizada na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 - Variação de pesos nos critérios de escolha

	Variação do pesos para o preço de venda	Variação de pesos para custo de manutenção	Variação de pesos para custo com água
farmer A	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2
farmer B	1,2 a 1,5	0,5 a 0,8	0,5 a 0,8
farmer C	0,5 a 0,8	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2

Fonte: elaboração do autor.

Nos eventos de chuva, a variabilidade ocorre, pois o dado de entrada de chuva é o somatório das chuvas diárias agregadas mensalmente. Para distribuir a chuva em dias utilizou-se um sistema em que no começo do mês é atribuído o total de chuvas daquele mês. Cada dia tem uma chance de 50% de chuva e se ocorrer no evento de chuva, um valor aleatório de zero ao total de chuvas mensal, é subtraído do total mensal, esse valor representa a precipitação do dia, a cada evento de chuva os valores vão sendo subtraídos do total mensal até o mesmo zerar. Esse tipo de distribuição da chuva fez-se devido à necessidade de subdividir em dias os seus dados mensais e foi na intenção de espalhar melhor a quantidade de chuva pelos dias do mês. E baseou-se no comportamento das chuvas mencionado nas reuniões com representantes dos produtores, onde foi citado que era relativamente comum durante o ano, grande parte da chuva do mês ocorrer em um só dia, seguido de veranicos intercalados com chuvas menos intensas.

#### 4.3.1.3.7 Observação

Os principais tipos de dados retirados do modelo para a análise são o total de receita gerado pelos produtores, a distribuição de receita (como a receita gerada na bacia é distribuída entre os produtores), os principais tipos de plantação escolhidos, as quantidades produzidas por plantação e o total de água retirada para manter o sistema. Esses dados podem ajudar a analisar os impactos de cada mudança de cenário.

#### 4.3.1.4 Inicialização do modelo – cenário Base (1)

Criou-se para dar início, modelo dez agentes produtores (dois produtores A, cinco B e três C) baseados na proporção de usuários apresentada pela ANA (2017b). Três *water* (Córrego do Rato, Samambaia Norte e Samambaia Sul), duzentos e noventa e oito pivôs (um para cada polígono de pivô no *shapefile*), um “calendário” (responsável por fornecer dados sobre as plantações e períodos de plantio), um arquivo de “tempo” (responsável por fornecer dados sobre o clima) e um de “mercado” (responsável por fornecer dados sobre

preço de venda das colheitas). Os produtores escolhem os pivôs mais próximos e sem dono e em seguida calcula-se o dinheiro inicial de cada um onde é atribuído o valor 0,1 para cada metro quadrado de propriedade do agente agricultor. Em seguida os pivôs já começam a seguir as ordens dos seus donos. Os agentes passivos (água, calendário, tempo e mercado) carregam suas informações e deixam disponíveis para os ativos consultarem (produtores A, B, C e pivôs).

#### 4.3.1.5 Dados de entrada

Obteve-se como dados de entrada, os arquivos da bacia hidrográfica, os mesmos foram feitos pelo autor com o processamento de imagens de satélite da região, essas imagens são gratuitas disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* – USGS. Também se utilizou séries históricas de preço, temperatura e chuva, com dados de 2008 a 2017 das fontes já citadas. Usou-se, para os custos de cada tipo de plantação, dados de diversas fontes, mas uma boa parte foi do Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás – IFAG. Por fim, os dados sobre as vazões disponíveis foram disponibilizados pela ANA (ANA, 2010).

Tabela 4-2 - Vazão outorgável Q<sub>95</sub> em L/s/km<sup>2</sup> (ANA, 2010)

	Samambaia Norte	Samambaia Sul	Córrego do Rato
jan	18,7	19,5	17,0
fev	16,6	16,7	23,4
mar	19,1	20,3	27,0
abr	16,8	17,2	24,6
mai	11,3	12,0	17,4
jun	6,9	7,3	11,3
jul	4,2	4,6	7,1
ago	2,5	2,8	4,6
set	1,7	1,9	3,1
out	1,6	1,6	3,0
nov	5,7	7,6	8,0
dez	10,7	14,6	15,0

As informações sobre o kc de cada tipo de plantação foram retiradas do Relatório Técnico feito pela Monteplan (MONTEPLAN, 2011). Já os custos de produção de cada tipo de cultura foram originados de fontes diversas, mas a maioria foi oriunda do IFAG (<http://ifag.org.br/custos-de-producao>).

Para a construção do modelo, se tornou necessário dados da produção da lavoura no sequeiro e irrigado, no modelo quando a lavoura tivesse toda sua demanda atendida a produção seria igual a produção irrigada, se não houvesse água suficiente a produção iria diminuindo proporcionalmente até atingir o nível de produção em sequeiro, quando não houvesse nenhuma água para a lavoura. Deu-se preferência para a utilização de dados produzidos por órgãos governamentais ou estudos, porém alguns tipos específicos de plantação não apresentavam esses tipos de dados. Então, como referência, utilizou-se dados citados em reportagens sobre produtividade de lavoura, caso da produção irrigada de batata, soja, milho e algodão. Também houve dificuldade em encontrar dados sobre a produção em sequeiro de cebola, tomate e alho, pois na fonte utilizada não especificava se houve irrigação, mas devido às baixas produtividades comparando com a produtividade irrigada já no modelo foi considerado como produção em sequeiro.

Tabela 4-3 - Kc das Plantações (MONTEPLAN, 2011).

Plantações	Kc nos estágios de crescimento			
	Inicial	Desenvolvimetro	Maturação	Final
Soja	0,6	0,75	1,08	0,75
Milho	0,6	0,78	1,13	0,88
Algodão	0,6	0,75	1,15	0,85
Feijão	0,6	0,75	1,13	0,70
Batata	0,6	0,75	1,13	0,80
Alho	0,6	0,85	1,05	0,75
Cebola	0,6	0,75	1,03	0,88
Tomate	0,6	0,63	0,85	0,63
Trigo	0,6	0,75	1,13	0,70

Baseado nos valores de manutenção das plantações citadas determinou-se um valor para a manutenção da terra sem nenhum tipo de plantação, representando os custos com manejo do solo e afins. Esse custo foi estimado em R\$ 0,01 por dia por metro quadrado.

Todos os custos e quantidades produzidas foram normalizados para custo e produção por metro quadrado. Para o modelo foi utilizado-se a produção irrigada como o máximo produzido, o custo de produção em sequeiro como o custo de produção da lavoura (as tabelas de que já apresentavam os custos de irrigação tiveram esse valor subtraído, considerando que todos os produtores já têm a estrutura de irrigação e o único fator que impede a irrigação é a falta de água), uma vez que no modelo os custos de bombeamento (custos de irrigação) serão calculados separadamente e variam conforme a demanda da cultura. E, por fim, a diferença entre a produção em sequeiro e a produção irrigada vai

apresentar um percentual de perda de produção devido à falta de água. Os dados do modelo se encontram na Tabela 4-4.

Para determinar qual época do ano poderia produzir cada tipo de plantação utilizou-se uma tabela confeccionada pelo IFAG/FAEG, que indicava em que mês as principais culturas (soja, milho, trigo, algodão, feijão e tomate) eram produzidas. Já para o restante das culturas (batata, alho e cebola) usou-se dados disponibilizados por Jacto (2018). Os tipos de cultura disponibilizados podem ser visualizados na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 - Dados das plantações por safra

Cultura	Produtividade Máxima (Kg/m <sup>2</sup> )	Produtividade Máxima (fontes)	Custo de Produção (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo de Produção (fontes)	Perda de produtividade por falta de água (%)	Meses para plantio
Soja - farmercrop1	0,42	EMBRAPA (2015)	0,4384	IFAG/SENAR (2018e)	26	Outubro, Novembro e Dezembro
Milho - farmercrop2	1,26	BOSCO (2017)	0,5119	IFAG/SENAR (2018d)	26	Fevereiro, Março, Setembro, Outubro e Novembro
Algodão - farmercrop3	0,45	NOTÍCIAS AGRÍCOLAS (2015)	1,0564	IFAG/SENAR (2018a)	62	Janeiro, Fevereiro, Outubro, Novembro e Dezembro
Feijão - farmercrop4	0,30	IFAG/SENAR (2018c)	0,4090	IFAG/SENAR (2018d)	20	Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro, Novembro e Dezembro
Batata - farmercrop5	6,00	SOMENSI (2017)	1,1309	AMARAL <i>et al.</i> (2012)	50	Março e Abril
Alho - farmercrop6	1,60	CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP (2018a)	5,7652	TRANI <i>et al.</i> (2008)	75	Fevereiro e Março
Cebola - farmercrop7	6,00	VILELA (2011)	1,4655	IEA (2017)	17	Janeiro e Fevereiro
Tomate - farmercrop8	9,50	IFAG/SENAR (2018f)	2,2045	GUERREIRO <i>et al.</i> (2018)	88	Fevereiro, Março, Abril, Maio e Junho
Trigo - farmercrop9	0,60	CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP (2018c)	0,3505	CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP (2018b).	53	Abril, Maio e Junho

Fonte: elaboração do autor.

Sobre os dados meteorológicos, usou-se os do site [agritempo.gov.br](http://agritempo.gov.br), da estação Cristalina TRMM.2738, a série histórica de 2008 a 2017, dados de precipitação total mensal, temperatura máxima e mínima. Os dados estão disponíveis em <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=GO>.

A média de precipitação e temperaturas mensais pode ser visualizada na Figura 4-11.

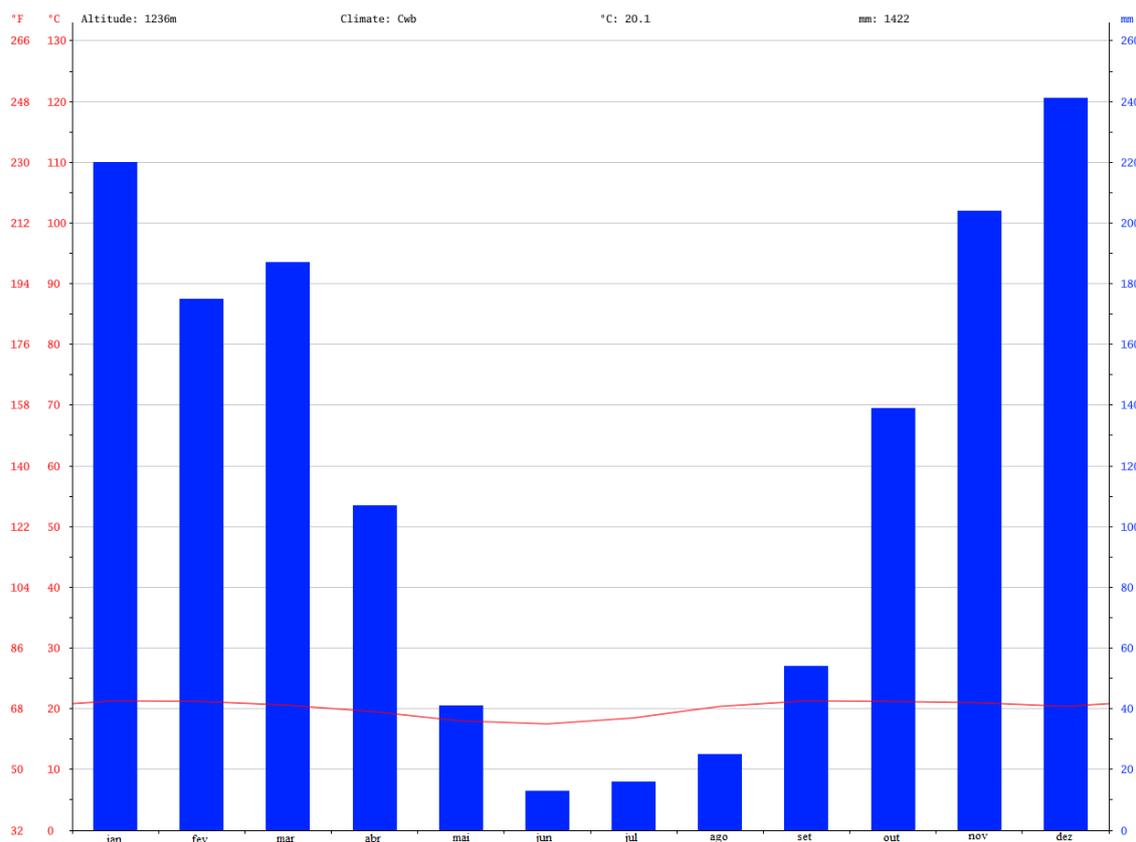


Figura 4-11 - Médias de precipitação mensal e temperatura (CLIMATE-DATA, 2019).

Relacionado aos dados dos preços de venda utilizou-se o histórico disponibilizado pelo site [agrolink](https://www.agrolink.com.br/cotacoes/) (<https://www.agrolink.com.br/cotacoes/>) onde se consultou o histórico de preços de cada tipo de plantaço. Fez-se uma cotação nacional, pois alguns produtos não tinham os preços para o estado de Goiás. A série histórica utilizada foi de 2008 a 2017 (dez anos), com os preços mensais de cada tipo de produto. Alguns tipos de produto apresentaram falhas no início da série, para preenchê-las era repetido o preço do mês mais próximo, ou o preço do mesmo mês do ano seguinte. Como alguns preços estavam em diferentes unidades (saco de 50kg, saco de 60kg, caixa de 10kg) todos os dados foram

ajustados para unidade monetária por quilograma de produto. Não houve atualização monetária dos valores para uma mesma data.

Os dados de vazão utilizados foram os de  $Q_{95}$  da Nota Técnica nº 132/2010/GEREG/SOF-ANA (ANA, 2010) apresentados em  $L/s/km^2$ , e esses dados foram convertidos para litros por dia na área micro bacia (córrego do Rato, Samambaia norte e Samambaia Sul).

No modelo, os dados de chuva e vazão não interagem uns com os outros, não há a utilização de um modelo chuva-vazão. O escoamento superficial é dado pela ANA (ANA, 2010), e os dados de chuva são utilizados para suprir as demandas hídricas das plantações. Caso a chuva não seja o bastante para suprir essa demanda, há utilização da água do escoamento superficial para a irrigação. Como só fez-se uso dos dados de uma estação pluviométrica, a chuva foi considerada uniforme em toda área da bacia.

O *shapefile* para determinar a localização e a área dos pivôs foi “Pivôs Centrais 2016” que está disponível na sessão de downloads em “cobertura do solo” no site da SIEG (<http://www.sieg.go.gov.br/produtosIMB.asp?cod=4712>).

As imagens de satélite para algumas análises foram as disponibilizadas no USGS, capturadas na data de 26 de setembro de 2017 *path 221 rows 71 e 72*. Para a delimitação da rede de drenagem e delimitação das microbacias, foi utilizado o modelo digital do terreno aferido no dia 17 de outubro de 2011 coordenadas -16.5, -47.5 e -15.5, -47.5, também disponibilizado pelo USGS. Todas as informações geográficas foram tratadas utilizando o ArcGIS.

#### **4.3.1.6 Submodelos**

Para calcular a evapotranspiração de base utilizou-se a equação de Hargreaves Samani calibrada para a região de Cristalina (FERNANDES et., 2012), que por sua vez calcula a demanda hídrica da plantação:

$$ETr = ETo \times Ks \times Kc$$

#### 4.3.1.7 Diagramas

Na Figura 4-12 ilustra-se o diagrama de classes do modelo, onde é apresentado esquematicamente todos agentes (divididos em ativos a passivos) e as interações que ocorrem entre eles durante a simulação.

Da Figura 4-13 até a Figura 4-18 apresenta-se os diagramas com as ações de cada tipo de agente. Na Figura 4-13 tem-se as ações dos agentes produtores, que eles verificam se é o ciclo zero (0), se for ele vai escolher os seus pivôs e calcular o dinheiro inicial, depois ele pede para os pivôs calcularem a viabilidade de cada tipo de plantação, escolhe a que melhor se encaixa nos critérios. Com a plantação escolhida ele pede diariamente, para que o pivô calcule os gastos até seja feita a colheita, após esse ciclo de ação de inicia novamente.

A Figura 4-14 apresenta o diagrama de ações dos agentes pivôs, a ação dele se inicia com a ordem do seu dono para atualizar as demandas, ele consulta o agente “calendário” para os dados de demanda e o tempo para a Evapotranspiração de base (ETo), com isso ele calcula os gastos diários com a produção. E se já estiver na hora de colher o seu dono pede para execução da venda e posteriormente é faz-se os cálculos para a escolha de uma nova plantação.

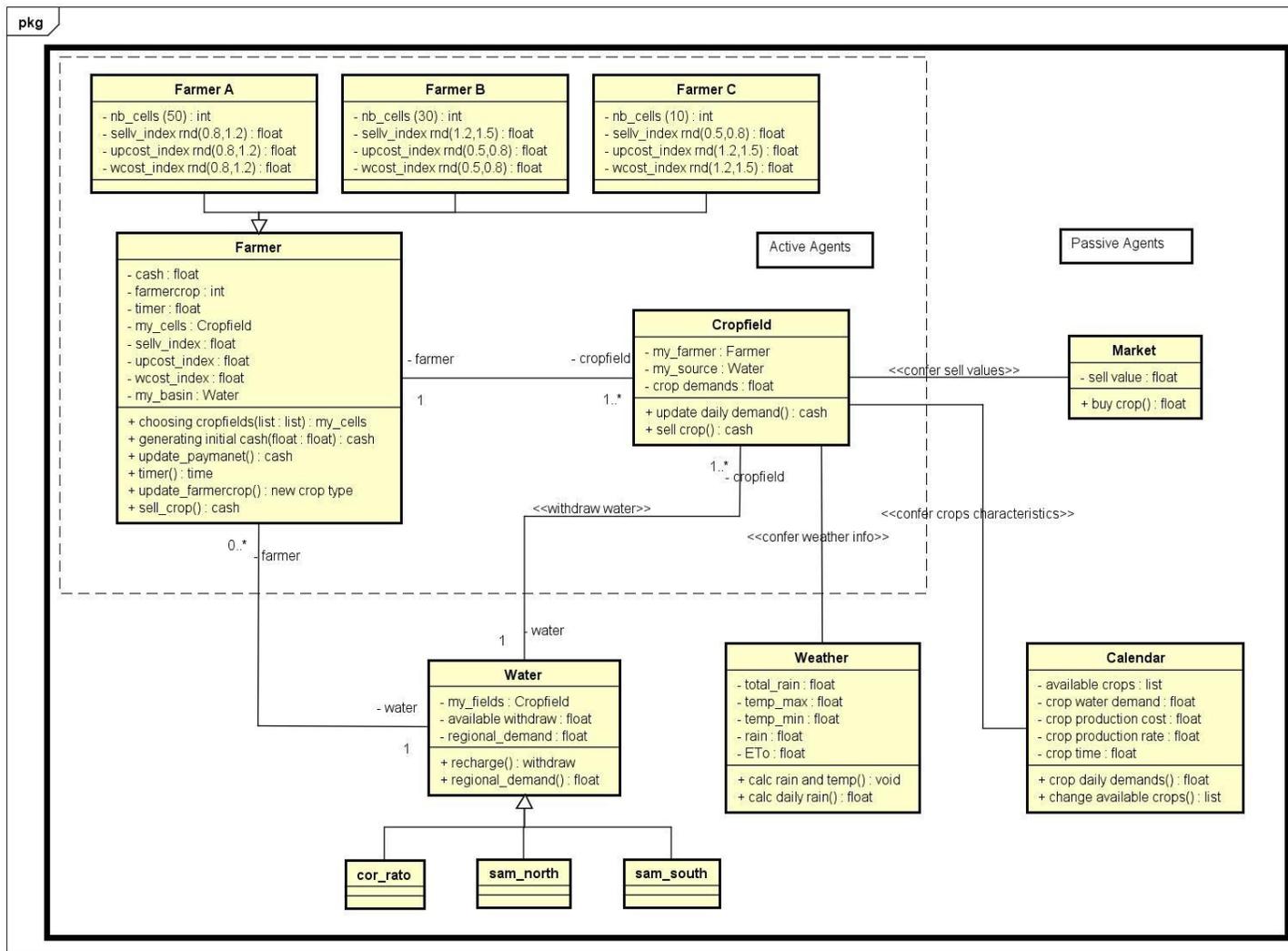
A Figura 4-15 apresenta o diagrama de ações dos agentes "água" No início da simulação ele marca quais são os pivôs que estão em sua área, diariamente consulta a tabela com os valores base para calcular o limite de água que pode ser utilizado. Eventualmente os pivôs podem pedir para os agentes “água” prospectarem volumes de água para utilizar na ajuda da escolha de novas plantações.

A Figura 4-16 apresenta o diagrama de ações do agente “tempo” e todo início de mês ele atualiza as informações de chuva, temperatura máxima e mínima de acordo com a sua tabela interna (dados do agritempo) e ETo. Diariamente ele rola para que ocorra o evento de chuva, caso ocorra a chuva, ele a subtrai do total mensal. Eventualmente os pivôs pedem para o agente “tempo” prospectar valores de ETo e onde esses valores serão utilizados para a escolha da nova plantação.

Os valores de prospecção de água, chuva e temperatura utilizados pelos produtores para a escolha de novas plantação são valores de água, chuva e temperatura do ano anterior. Uma vez que os agentes produtores não sabem das condições futuras, eles utilizam as informações disponibilizadas no ano anterior.

A Figura 4-17 apresenta o diagrama de ações do agente “calendário”, no qual todo mês é atualizado os tipos de cultura que podem ser plantados e as características de cada cultura. Ele fornece as características de consumo de recursos de cada cultura para os agentes pivôs.

Na Figura 4-18 observa-se o diagrama de ações do agente “mercado”, onde ele fornece as informações de preço de venda da produção para os agentes pivôs. No final da plantação o agente “mercado” compra a produção e passa dinheiro para o dono do pivô. O valor de venda também é consultado na hora de escolher uma nova plantação.



powered by Astah

Figura 4-12 - Diagrama de classes UML. Fonte: Elaboração do Autor.

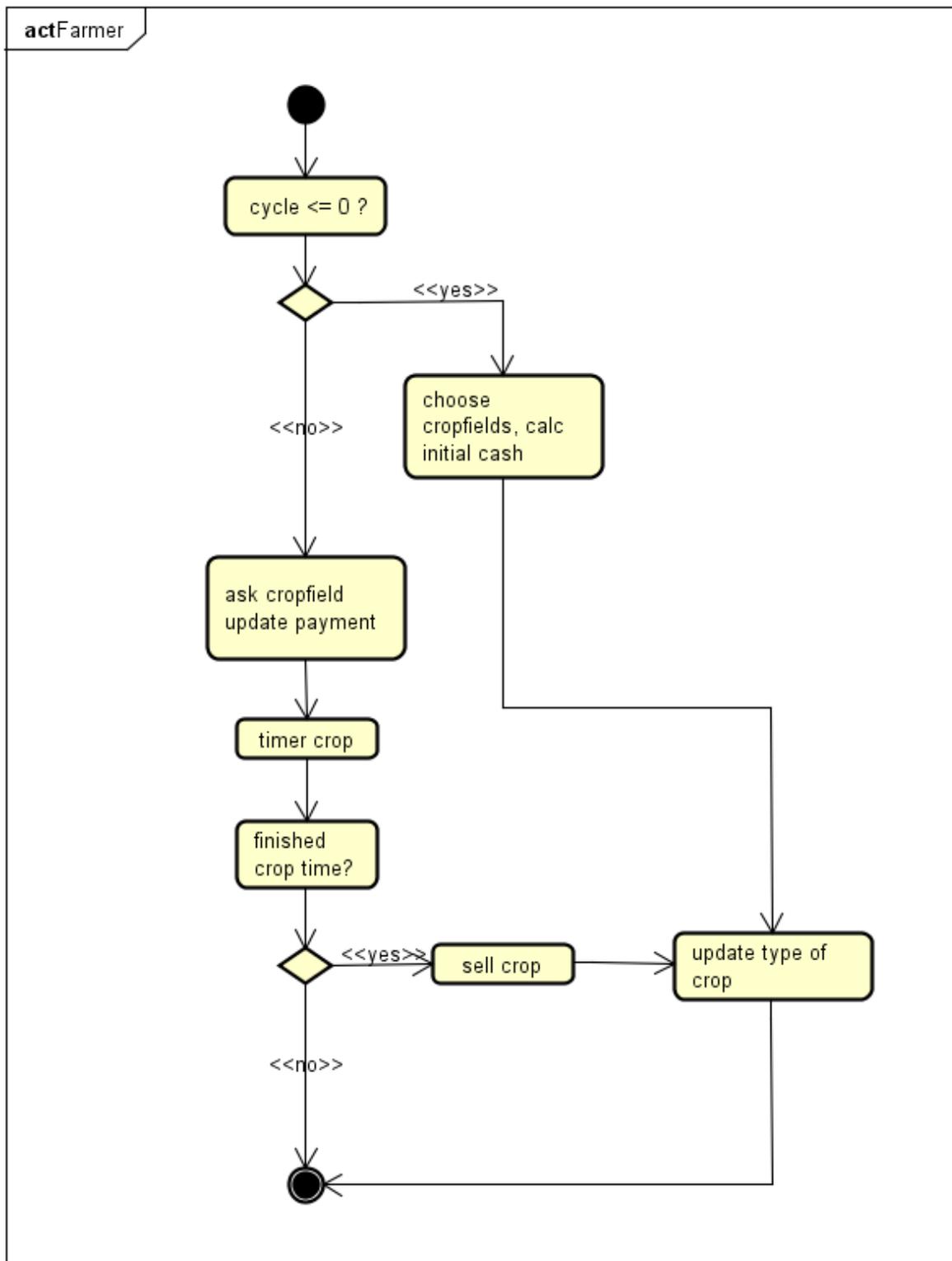


Figura 4-13 - Diagrama de atividades dos produtores UML. Fonte: Elaboração do Autor.

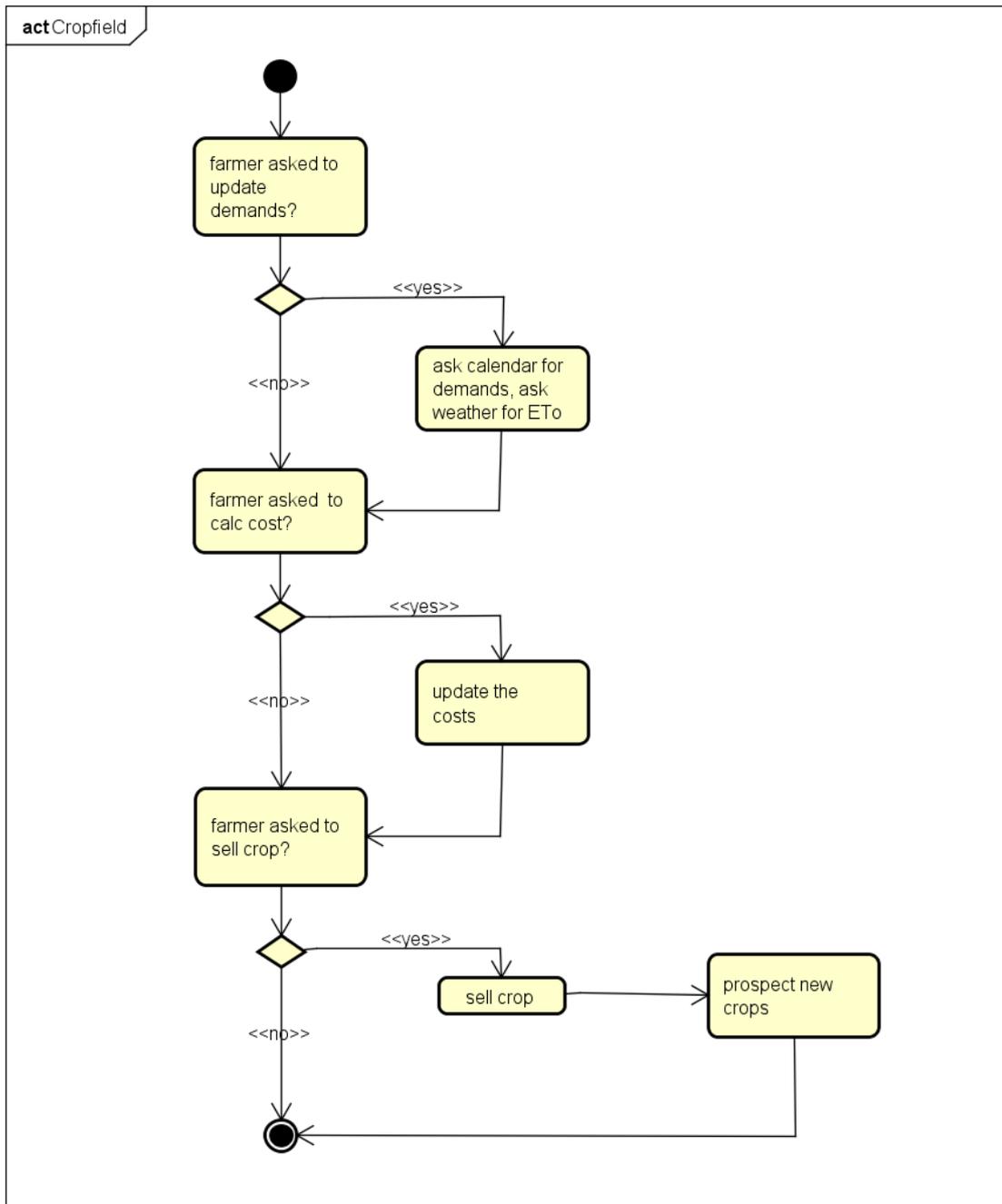
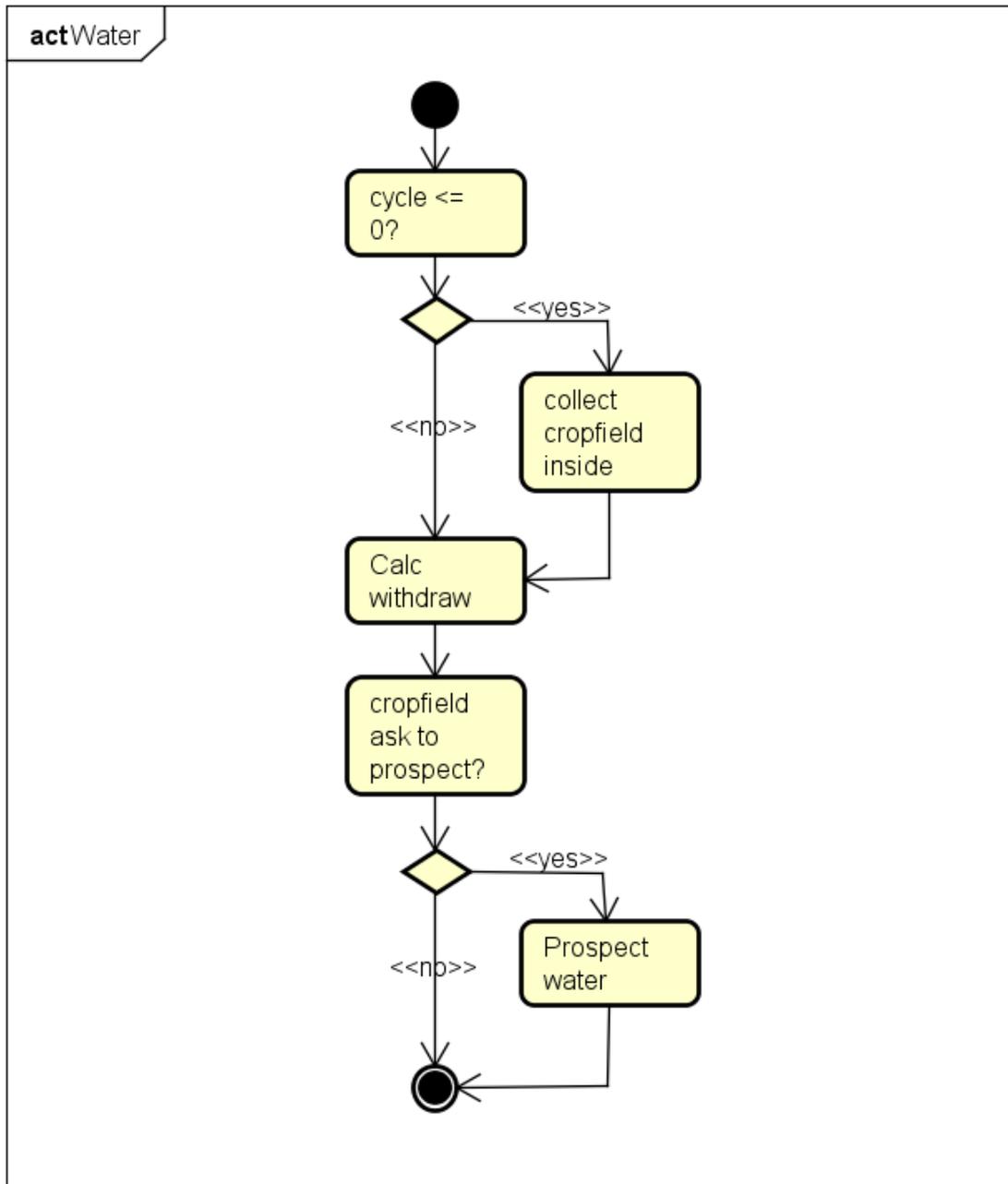


Figura 4-14 - Diagrama de atividades Pivôs UML. Fonte: Elaboração do Autor.



powered by Astah

Figura 4-15 - Diagrama de atividades Water UML. Fonte: Elaboração do Autor.

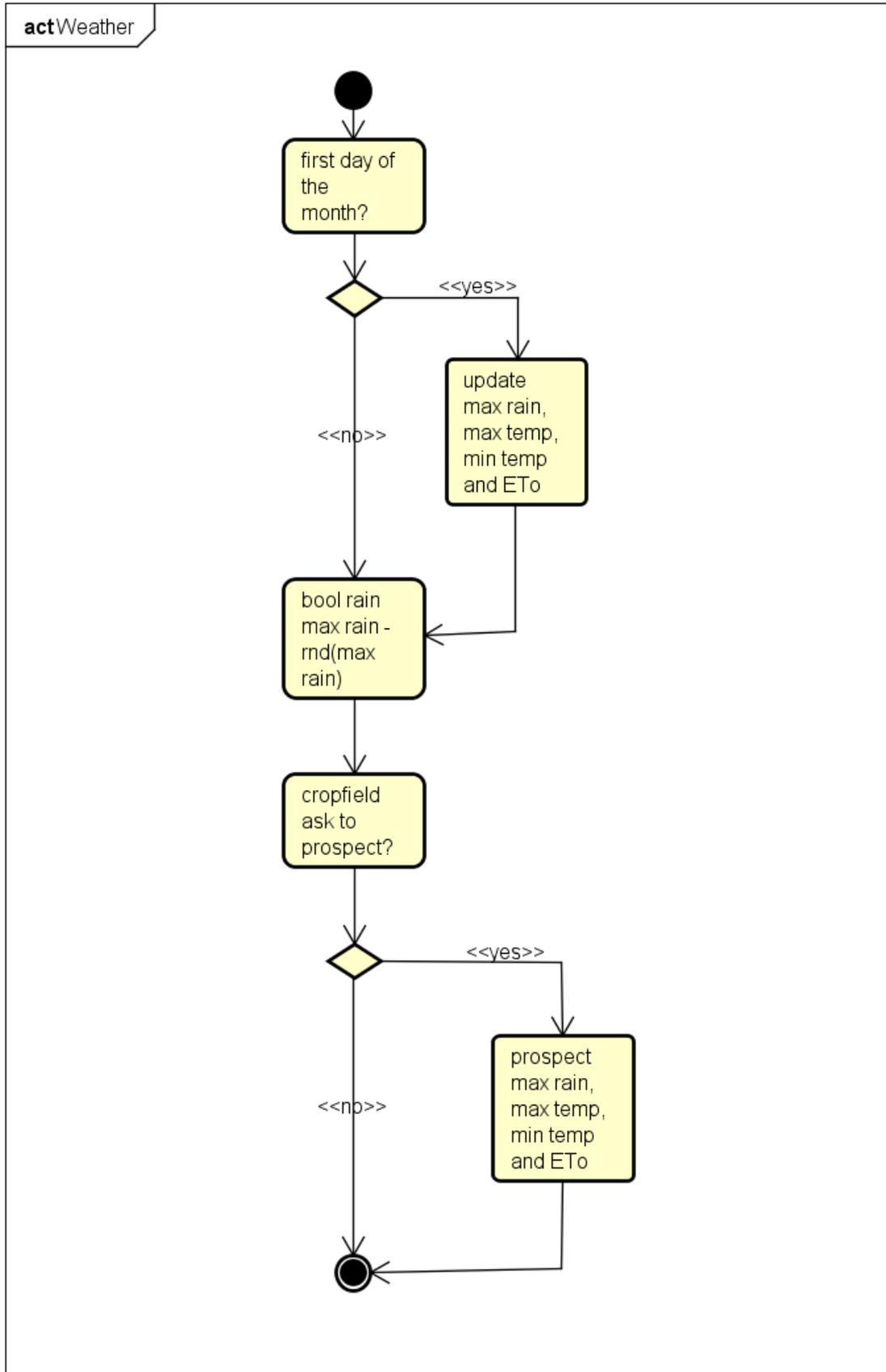
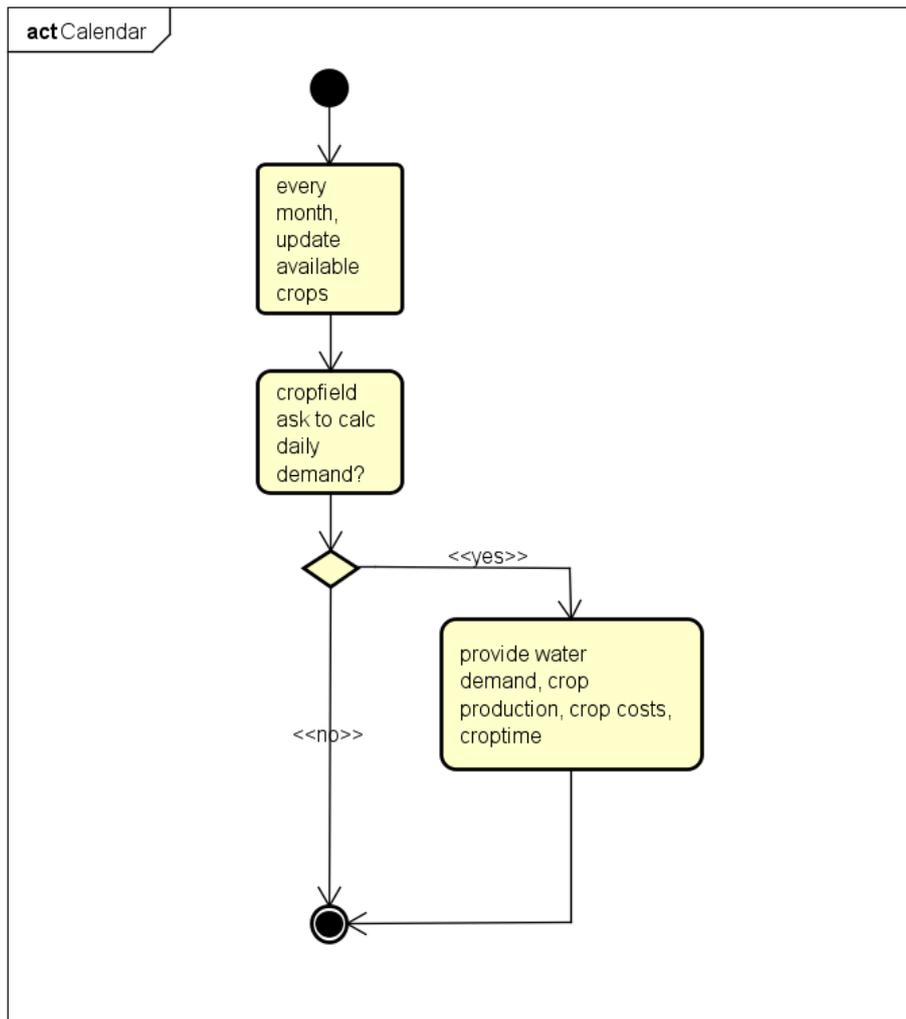
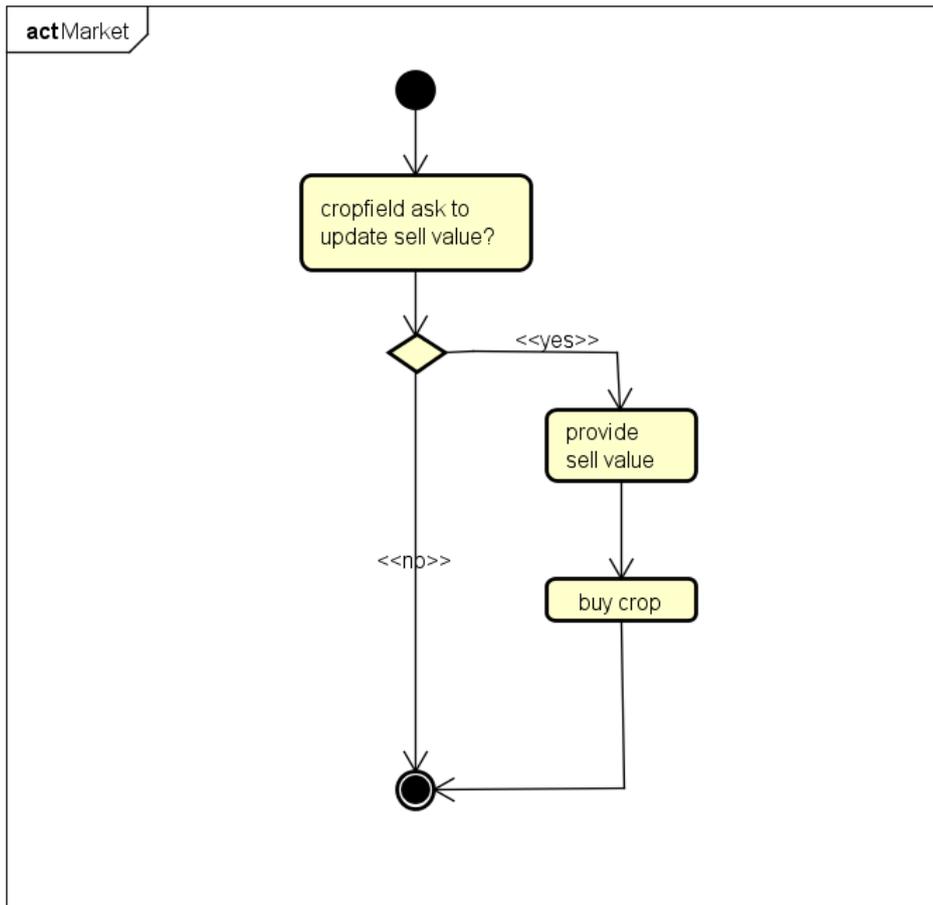


Figura 4-16 - Diagrama de atividades Weather UML. Fonte: Elaboração do Autor.



powered by Astah

Figura 4-17 - Diagrama de atividades Calendar UML. Fonte: Elaboração do Autor.



powered by Astah

Figura 4-18 - Diagrama de atividades Market UML. Fonte: Elaboração do Autor.

#### 4.4 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

Para demonstrar a aplicabilidade do modelo na bacia do Samambaia, quatro cenários foram definidos para que os dados gerados pudessem ser analisados. Os cenários foram levantados nas reuniões com os *stakeholders*. Os dados analisados foram: o total de receita gerada na bacia; a receita gerada por cada produtor; o total de água utilizado na bacia; o total de água utilizado por cada usuário e a sua disponibilidade na bacia. O modelo também pôde apresentar os dados de produção de cada tipo de plantação.

O primeiro cenário analisado é o de base, ou de referência representando as condições atuais do local. O segundo cenário foi baseado na tendência decrescente da média da precipitação anual na região de Planaltina – DF (EMBRAPA, 2010), que fica próxima à bacia do Samambaia. No intuito de criar um cenário extremo e levando em consideração esse decréscimo, fez-se uma extrapolação para a sua criação. Assim, o decréscimo da chuva e a disponibilidade hídrica diminuem em uma mesma proporção. Nesse cenário a chuva e a disponibilidade hídrica do modelo são reduzidas em 30% durante toda a simulação.

O terceiro cenário baseou-se no instrumento da cobrança pelo uso da água previsto na PNRH, na bacia a cobrança pelo uso já foi regulamentada pela Deliberação n. 61 de 2016 (CBH PARANAÍBA, 2016). Nesse cenário um valor unitário por volume de água utilizada será adicionado. Na normativa, para fazer o cálculo do valor a pagar é utilizado o volume captado, o volume outorgado, pesos referentes à relação entre volume captado e volume outorgado, preço unitário para captação e peso relacionado ao enquadramento do corpo hídrico e ao tipo de usuário, para simplificar, o valor de cobrança pelo uso será embutido no custo de bombeamento (que existe em todos os demais cenários) apresentado no modelo como R\$ 2,00/mm/ha, valor de bombeamento levantado junto aos usuários nas reuniões.

Para o cálculo no modelo, como não há volume outorgado de cada produtor no modelo é considerado apenas o volume retirado do rio. O cálculo final será volume captado multiplicando o preço unitário e multiplicando o peso referente ao enquadramento do rio e ao usuário. O preço unitário tem o valor de R\$ 0,015 por m<sup>3</sup> no primeiro e no segundo ano, no terceiro ano esse valor sobe para R\$ 0,020, no quarto ano vai para R\$

0,022 e no quinto ano se estabiliza em R\$0,025. Referente ao enquadramento do rio, o valor adotado é referente a um rio Classe dois (2) com o peso de um (1,0), por serem usuários agrícolas o peso referente a uso agrícola é 0,1, valores esses que multiplicam o preço unitário.

O quarto cenário foi uma mistura dos cenários dois e três, onde existia a redução da chuva e disponibilidade hídrica e a cobrança pelo uso da água. Todos os cenários alternativos buscaram levantar os impactos dos diferentes fatores na geração de receita e na demanda hídrica na bacia.

Tabela 4-5 - Resumo dos Cenários

Cenários	1	2	3	4
Disponibilidade de Água	normal	30% a menos	normal	30% a menos
Chuva	normal	30% a menos	normal	30% a menos
Pagamento pelo uso da Água	não	não	sim	sim

Fonte: elaboração do autor.

Realizou-se 100 simulações em cada cenário, totalizando 400 simulações. O tempo médio para fazer as simulações foi de duas horas em um computador com processador i7 e 16gb de memória RAM.

Para a análise dos impactos em cada cenário calculou-se as médias de produção de cada lavoura nas 100 simulações para cada cenário, o mesmo foi feito para geração de receita e consumo de água.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas simulações dividiram-se em desempenho geral da bacia hidrográfica e desempenho por tipo de produtor (produtores A, produtores B e produtores C). Os dados apresentados nas tabelas são as médias obtidas depois das 100 simulações. Para verificar a variabilidade dos pesos nos critérios para a escolha de novas plantações e área de cada agente em cada cenário fez-se a Tabela 5-1.

É importante relatar que em todos os cenários os reservatórios diários de água (fonte que disponibiliza água aos produtores) não foram exauridos em nenhuma ocasião. Na maioria das vezes, a demanda hídrica não passava de 20% da água disponibilizada para o uso, não houve eventos de falta de água para a irrigação. Logo, a principal preocupação relacionada com a irrigação era o seu custo, dado que a falta de água não se mostrava relevante para os agentes produtores. Também é importante relatar que o limite de retirada de água à montante contido na outorga da barragem hidroelétrica de Batalha não está subdividido com os limites para cada sub-bacia à montante, essa limitação decorrente da outorga da barragem não foi considerada nas simulações.

Tabela 5-1 Média dos pesos dos critérios de escolha e áreas dos produtores em cada cenário.

	Pesos e Áreas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Produtor A	Preço de Venda	1,006	1,009	1,006	0,995
	Custo de Manutenção	0,990	0,995	1,016	1,002
	Custo com Água	0,993	0,991	0,995	1,013
	Área (m <sup>2</sup> )	3,865E+07	3,863E+07	3,864E+07	3,866E+07
Produtor B	Preço de Venda	1,352	1,345	1,348	1,352
	Custo de Manutenção	0,646	0,649	0,648	0,648
	Custo com Água	0,652	0,648	0,655	0,649
	Área (m <sup>2</sup> )	2,268E+07	2,269E+07	2,268E+07	2,267E+07
Produtor C	Preço de Venda	0,659	0,652	0,653	0,656
	Custo de Manutenção	1,355	1,351	1,351	1,355
	Custo com Água	1,353	1,347	1,340	1,349
	Área (m <sup>2</sup> )	7,226E+06	7,232E+06	7,237E+06	7,237E+06

Fonte: elaboração do autor.

Inicialmente serão apresentados os resultados por tipo de produtor. A variabilidade no consumo total de água pode ser visualizada na Tabela 5-2, durante todo o período simulado (10 anos). Pode-se perceber que todos os tipos de produtores tiveram em média seu consumo de água alterada nos diferentes cenários. No cenário dois (2) comparando ao um (1), com o decréscimo do nível de chuvas aumentou o consumo de água dos produtores para suprir as necessidades das plantações. No “três” (3), em comparação com o primeiro cenário houve um decréscimo do consumo de água devido ao custo extra, relacionado à taxa de cobrança por uso. E no último cenário verificou-se que a adoção da cobrança pelo uso da água conseguiu frear o aumento do consumo, devido ao decréscimo das chuvas (apresentado no cenário três)

É perceptível uma mudança numérica expressiva de demanda em cada cenário, mas o tempo de simulação é bem longo (10 anos) e a área total da bacia é bastante grande (aproximadamente 900km<sup>2</sup>). Contudo, proporcionalmente as mudanças nas médias não chegam a 2% para mais ou para menos quando comparados com o cenário um (1).

Relacionado aos impactos financeiros dos cenários pode-se visualizar a Tabela 5-2, onde se percebe que cada tipo de agricultor teve um impacto diferente, e isso pode ter ocorrido pela reação diferente de cada um às adversidades dos cenários, nos quais a variabilidade afetou diretamente as escolhas por novos tipos de plantação.

Ao tratar da receita, não foi verificado um padrão claro nos perfis A, B e C, os fatores externos apresentados em cada cenário fizeram diferença na escolha das novas plantações, e isso gerou algumas mudanças no padrão de plantio, fazendo com que os agentes escolhessem culturas mais ou menos rentáveis gerando uma diferenciação no longo prazo.

Apesar das diferenças numéricas das médias de rendimento em cada cenário, serem valores elevados (na escala de milhões), proporcionalmente esses resultados médios não chegam a 2% positivos ou negativos quando comparados ao cenário um (1).

Tabela 5-2 Médias de Receita e Consumo de Água por tipo de produtor.

		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Produtor A	Receita (R\$)	7,728E+09	7,734E+09	7,747E+09	7,741E+09
	Água Consumida (L)	8,343E+09	8,418E+09	8,259E+09	8,389E+09
Produtor B	Receita (R\$)	4,854E+09	4,855E+09	4,853E+09	4,852E+09
	Água Consumida (L)	5,442E+09	5,508E+09	5,428E+09	5,508E+09
Produtor C	Receita (R\$)	1,587E+09	1,582E+09	1,588E+09	1,596E+09
	Água Consumida (L)	1,326E+09	1,342E+09	1,325E+09	1,345E+09

Fonte: elaboração do autor.

Ao Considerar a média de produção por tipo de produtor (Tabela 5-3), os produtores apresentaram em todos os cenários um aumento na produção de cebola (Crop 7) e um decréscimo na produção de algodão (Crop 3), e com a cobrança pelo uso de água houve uma diminuição da produção de milho (Crop 2). Ao verificar que as mudanças de cenário apenas alteraram os custos com irrigação para a produção e considerando que os produtores B têm os pesos menores nos custos de produção e custos com água, as mudanças de cenário não apresentaram impactos na sua produção. Os produtores C apresentaram em todos os cenários um aumento nas produções de cebola e tomate (Crop 8) e um decréscimo na produção de algodão. Eles apresentaram a maior variação de tipos de produção nos cenários, em termos de massa produzida, por ter uma maior área para a produção. Já os produtores A apresentaram as maiores alterações.

Tabela 5-3 - Média da Produção por tipo de Produtor

		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Produtor A	Milho Total (kg)	2,123E+08	2,192E+08	1,994E+08	1,984E+08
	Algodão Total (kg)	2,773E+08	2,744E+08	2,744E+08	2,767E+08
	Feijão Total (kg)	4,896E+07	4,695E+07	4,879E+07	4,951E+07
	Cebola Total (kg)	8,645E+08	8,838E+08	9,027E+08	8,729E+08
	Tomate Total (kg)	7,344E+09	7,340E+09	7,342E+09	7,345E+09
Produtor B	Milho Total (kg)	8,575E+08	8,576E+08	8,573E+08	8,571E+08
	Algodão Total (kg)	3,062E+08	3,063E+08	3,062E+08	3,061E+08
	Cebola Total (kg)	2,722E+09	2,723E+09	2,722E+09	2,721E+09
	Tomate Total (kg)	1,078E+10	1,078E+10	1,077E+10	1,077E+10
Produtor C	Milho Total (kg)	8,045E+05	9,873E+05	1,042E+06	7,448E+05
	Algodão Total (kg)	2,593E+07	2,570E+07	2,571E+07	2,554E+07
	Feijão Total (kg)	1,089E+07	1,065E+07	1,090E+07	1,082E+07
	Batata Total (kg)	7,771E+06	8,970E+06	7,834E+06	5,130E+06
	Cebola Total (kg)	9,162E+08	9,237E+08	9,214E+08	9,300E+08
	Tomate Total (kg)	2,046E+09	2,047E+09	2,049E+09	2,054E+09

Fonte: elaboração do autor.

Com relação ao desempenho geral de todos os usuários da bacia hidrográfica temos a Tabela 5-4 que apresenta a média da demanda total de água de todos os usuários e em todos os cenários. Evidencia-se nela, os impactos de cada cenário, contudo, proporcionalmente quando se compara as alterações com o cenário um (1) a diferença não passa de 2%. O mesmo comportamento é visualizado na linha com a média total de receita dos produtores. Apesar do aumento na demanda hídrica, no cenário dois (2) houve um leve aumento na geração de receita, com as alterações climáticas, os produtores podem ter escolhido culturas mais rentáveis gerando o efeito visualizado.

Agora relacionado ao tipo de produção, mais especificamente às quantidades totais produzidas em quilogramas ilustra-se com a Tabela 5-4. Uma surpresa nas simulações foi que nenhum produtor escolheu plantar soja, isso se diferencia muito da vida real, na qual esta é a preferência dos produtores. Talvez fatores, como uma baixa complexidade necessária para atingir rendimentos satisfatórios, ou até mesmo uma facilidade na venda da produção, que são fatores não representados no modelo, possam exercer um peso alto na escolha da soja como plantação. No modelo, a preferência de todos foi a produção de tomate. Sempre que possível eles produziam tomate, em versões preliminares do modelo, quando não havia proibição de plantar duas vezes seguida o mesmo tipo (proibição que ocorre no mundo real, devido a questões fitossanitárias), os agricultores praticamente

produziam só tomate. Essa preferência se deu pelo alto nível de produção de tomate por m<sup>2</sup>, pouca demanda hídrica e os altos preços de venda.

Tabela 5-4 - Médias da Produção e Consumo na Bacia.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Água Consumida (L)	1,511E+10	1,527E+10	1,501E+10	1,524E+10
Receita Total (R\$)	2,420E+13	2,429E+13	2,437E+13	2,431E+13
Milho Total (kg)	1,071E+09	1,078E+09	1,058E+09	1,056E+09
Algodão Total (kg)	6,094E+08	6,064E+08	6,063E+08	6,084E+08
Feijão Total (kg)	5,985E+07	6,064E+08	5,969E+07	6,033E+07
Batata Total (kg)	7,771E+06	8,970E+06	7,834E+06	5,130E+06
Cebola Total (kg)	4,503E+09	4,530E+09	4,546E+09	4,524E+09
Tomate Total (kg)	2,017E+10	2,016E+10	2,016E+10	2,017E+10

Fonte: elaboração do autor.

Além da soja, trigo e alho nunca foram selecionados ao longo da simulação. O alho precisa de um investimento muito alto para o seu plantio, esse fator acabou prejudicando a produção de alho. No caso da soja e do trigo, outras opções de plantio no mesmo mês se apresentaram mais vantajosas, não dando chances para os dois grãos.

O cenário dois (2), pouco afetou a média de produção de cada tipo de plantação. Apesar da diminuição do total de chuvas e de água disponível em 30%, ainda havia água bastante para suprir a demanda hídrica das plantas. Contudo, houve um leve aumento na média de produção de feijão (Crop 4) e cebola. No restante das médias houve pequenas alterações.

No cenário três (3), no qual teve um encarecimento da irrigação, a produção de milho e algodão acabou caindo e houve um aumento na produção de plantações que consomem menos água como a batata (Crop 5) e a cebola. A média da produção de tomate se manteve nos mesmos níveis em cada cenário.

Outro detalhe importante é a produção de batata que nem sempre era produzida, sua produção era esporádica no rol dos resultados das simulações, evidenciando que as características da produção de batata estão próximas ao limiar dos pesos dos critérios de escolha dos agricultores. A média da produção de batata apresentou uma grande variação cotando todos os cenários. Os únicos produtores que produziram batata foram os

produtores C, pois eram os únicos que consideravam a batata viável de acordo com os pesos no seu critério de escolha.

Olhando as tabelas com as médias do consumo de água em cada cenário, dos três cenários com alterações (2, 3 e 4) o cenário quatro (4) apresentou uma tendência em manter o nível de produção parecido com o do um (1). Em termos de consumo geral na bacia as alterações no produtor A são as mais expressivas, pois apresentam uma área de produção muito maior que os outros produtores, logo, os efeitos nos produtores A são os mais refletidos na bacia, mas de modo geral todos os tipos de produtores apresentaram o mesmo comportamento. Contudo, no cenário dois (2) houve um aumento no consumo de água, no três (3) houve um decréscimo desse nível e no quatro (4) a cobrança pelo uso da água conseguiu diminuir o aumento no consumo gerado pela escassez hídrica.

Furquim (2017) adotou uma abordagem tradicional para verificar os impactos da cobrança pelo uso da água nas áreas irrigadas, através da programação linear com o objetivo de maximizar a receita total do sistema de diferentes culturas irrigadas em Cristalina. Ela concluiu que a cobrança pelo uso da água não causaria impacto efetivo na configuração de área irrigada do município. No cenário três (3), que representa essa questão da cobrança pelo uso da água, foi possível perceber que culturas com menor demanda hídrica conseguiram um pouco mais de espaço, indicando uma leve alteração na configuração das culturas irrigadas na bacia.

## 6 CONCLUSÕES

O processo de modelagem utilizado nesse trabalho foi bastante complexo, exigiu uma constante participação dos *stakeholders* e uma base de dados robusta. Conhecimentos sobre o local trabalhado, as características ambientais, o clima, a hidrologia, os produtores e produtos, as motivações de cada usuário e os tipos de consumo de água foram indispensáveis para esse tipo de modelagem.

Com a aplicação do modelo desenvolvido neste trabalho foi possível identificar alguns impactos dos cenários na produção, na demanda hídrica e na geração de receita da bacia. Apesar de alguns parâmetros demonstrarem uma pequena alteração percentual, foi possível identificar os impactos de cada cenário em cada tipo de produtor e na bacia em geral.

O cenário com decréscimo da chuva e disponibilidade hídrica apresentou um aumento na demanda hídrica da bacia. Como não houve eventos de escassez hídrica, não houve uma grande alteração nas médias de produção.

No cenário com a utilização da cobrança pelo uso de água, decréscimo da chuva e disponibilidade hídrica, a cobrança se apresentou como uma boa opção para frear o aumento de demanda decorrente do decréscimo no nível das chuvas. As médias de produção se mantiveram um pouco abaixo dos níveis apresentados no cenário “base”, porém a média de receita total ficou um pouco acima.

No geral, as alterações verificadas nos resultados médios dos parâmetros das simulações apresentaram diferenças menores que 2% nos resultados quando comparadas com o cenário “base”. Com uma diferença tão pequena fica difícil afirmar, se os cenários tiveram uma grande influência nos resultados.

Os *stakeholders* demonstraram interesse em explorar cenários de manejo de água para ajudar na administração do recurso, tanto explorando regras novas para o uso da água quanto diferentes tipos de efeitos externos que podem alterar a produção na bacia. Também se mostraram interessados no aprimoramento do modelo.

Relacionado ao processo de modelagem, em que houve uma constata e recorrente participação dos *stakeholders*, esse tipo de colaboração pode gerar uma aproximação entre as partes interessadas e também pode gerar uma melhor compreensão do papel de cada parte no processo de gestão. Essa participação também é importante para validar os processos e comportamentos que ocorrem na área de estudo.

O modelo desenvolvido conseguiu alcançar resultados diferentes da abordagem utilizando a programação linear, no sentido de identificar os impactos da cobrança pelo uso da água na produção agrícola.

Com o modelo e os resultados gerados, foi possível inferir que ele pode ser utilizado para explorar variações no clima, mercado, novos métodos de pagamento pelo uso da água, métodos de pagamento baseados em estações de seca e chuva, regras especiais para diferentes tipos de plantação, e diversas outras variações. Tudo isso pode ajudar os gestores e os usuários dos recursos hídricos. Não obstante, Samambaia Basin – Hydro-ABM pode ser uma ferramenta para ajudar partes conflituosas a convergir em acordos, promovendo o aprendizado social e melhorando a cooperação.

## 7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para aprimorar o modelo multiagente da bacia hidrográfica do Rio Samambaia talvez fosse necessária uma melhor subdivisão das microbacias, utilizando uma subdivisão similar à feita no *Aquanet* apresentada na Nota Técnica 132 da ANA (ANA, 2010). Assim, seria mais fácil de identificar regiões críticas dentro da bacia. Além disso, também é possível inserir toda a parte de manejo dos reservatórios e diferenciação entre reservatórios e rios, uma vez que no modelo apresentado nesse trabalho só existe um reservatório virtual que armazena toda água de um dia para cada sub-bacia.

Ainda sobre a parte hidrológica, a adoção conjunta de um modelo chuva vazão pode melhorar um pouco mais a representação e conseqüentemente identificar alguns pontos importantes para a gestão hídrica na bacia.

Sobre a questão econômica, a padronização dos valores de custo e venda para uma mesma data, através de algum parâmetro de atualização monetária (inflação por exemplo) levaria a uma comparação mais sólida dos valores apresentados no modelo.

Um fator que deve ser melhorado é a questão da diferenciação entre cada agente agricultor, no modelo apresentado nesse trabalho caracterização de cada perfil foi superficial baseada somente nas reuniões feitas com os representantes dos produtores rurais. O perfil de cada produtor rural é muito importante, pois tem influência direta no processo de escolha da próxima plantação, e como os fatores externos, influenciam cada indivíduo nas suas escolhas. Para melhorar esse fator seria importante fazer entrevistas individualizadas com cada produtor, para assim levantar um perfil mais aprofundado de cada um. É necessário ampliar a coleta de dados e informações.

Outro fator importante está relacionado à tecnologia utilizada para a plantação e conseqüentemente os preços de produção. Em situação real cada usuário tem diferentes tecnologias utilizadas e conseqüentemente diferentes custos para cada tipo de produção. Esse aspecto também pode ser inserido por meio de um estudo mais detalhado dos produtores do local.

Também é importante considerar, que os preços de produção e o comportamento de cada produtor, pode variar no decorrer dos anos da simulação. Essas alterações podem ser importantes em alguns tipos de simulação.

Seria interessante fazer uma análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados como critério de escolha dos agricultores, também deve ser analisado a importância de análise de sensibilidade de outros parâmetros.

Ao relacionar os dados de entrada, uma melhor série diária de dados sobre o clima também ajudaria bastante na execução do modelo, principalmente na parte da distribuição da precipitação durante o mês.

Uma base de dados sobre o solo da região também é importante, pois as características do solo podem ser utilizadas para o cálculo da evapotranspiração de base.

Os dados sobre os custos relacionados a cada tipo de plantação se apresentaram como um problema. Não existia uma fonte unificada sobre todos os tipos de plantação e isso forçou a utilização de dados de fontes, regiões e até de épocas diferentes. Os dados fornecidos pelo IFAG ajudaram bastante, mas não havia dados sobre todos os tipos de plantação utilizados no modelo. Também houve uma dessincronia, pois só tinha dados de custo de um tipo de produção e preço de venda de uma produção parecida (ex. tomate industrial e tomate).

A criação de um banco de dados com informações referentes aos custos de produção de cada tipo de plantação (e se possível os preços de venda) seria muito importante para melhorar os resultados do modelo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, I. M., & PINHEIRO, J. C. Aspectos econômicos e legais do modelo de gestão das águas na região do Cariri-CE. *Cadernos Camilliani*, p. 61-73, 2007.
- AKHBARI, M., & GRIGG, N. S. *A framework for an agent-based model to manage water resources conflicts*. *Water Resource Manage*, jun 2013.
- ALGODÃO: ABAPA IMPLANTA PROJETO PILOTO NO SUDOESTE. *Notícias Agrícolas*, 2015. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/algodao/154281-algodao-abapa-implanta-projeto-piloto-no-sudoeste.html#.XI7XKihKhPY>>. Acesso em: 17/03/2019.
- AMADO, F. *Direito Ambiental*. JusPodivim, 2017.
- AMARAL, A. O., GUTH, S. C., MOTTA, M. E. V., CAMARGO, M. E., MEGEOTTO, M. L.A., PACHECO, M.T.M. Viabilidade econômica da cultura de batata. *Custos e @gronegocio on-line* - v. 8, n. 2 – Abr/Jun - 2012.
- AMORIM, A. L., RIBEIRO, M. M., & BRAGA, C. F. Conflitos em bacias hidrográficas compartilhadas: o caso da bacia do rio Piranhas-Açu / PB-RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, p. 36-45, 2016.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Atlas Irrigação: uso da Água na Agricultura Irrigada*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2017.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Encontro sobre a Agricultura Irrigada no Brasil* - 05/12/2017. 2017b (4h41min19s) Disponível em: <<https://youtu.be/LKE91sR4QZw?t=10404>>. Acesso em: 06/03/2019.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Manual De Procedimentos Técnicos E Administrativos De Outorga De Direito De Uso De Recursos Hídricos Da Agência Nacional De Águas*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, ago 2013.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Nota Técnica nº 132/2010/GEREG/SOF-ANA de 10 de set de 2010*.

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia do Rio Paranaíba. Brasília: Agência Nacional de Águas e Ministério do Meio Ambiente, 2015.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Relatório de Outorgas, 2019 Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/outorgas/relatorio\\_outorgas.csv](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/outorgas/relatorio_outorgas.csv)>. Acesso em: 14/07/2019.
- ARNOLD, R. T., TROOST, C., & BERGER, T. Quantifying the economic importance of irrigation water reuse in a chilean watershed using an integrated agent-based model. *Water Resources Research* – AGU, 2015.
- BECU, N., PEREZ, P., WALKER, A., BARRETEAU, O., & PAGE, C. L. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand: Description of the CATCHSCAPE model. *Ecological Modelling* - 170, p. 319 – 331, 2003.
- BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Um olhar territorial para o desenvolvimento do Centro-Oeste. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014.
- BOSCO, J. H. Milho irrigado: produtor chega a 258 sacas/hectare. Canal Rural, janeiro de 2017. Disponível em: < <https://canalrural.uol.com.br/sites-e-especiais/milho-irrigado-produtor-chega-258-sacas-hectare-65690/>>. Acesso em: 17/03/2019.
- BOUSQUET, F., & PAGE, C. L. *Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. Ecological Modelling* - 176, p. 313-332, jan 2004.
- BRASIL. Decreto n. 24.643, de 10 jul. de 1934. Código de Águas. Rio de Janeiro – RJ.
- BRASIL. Lei Federal n. 9.433, de 8 de jan. de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília – DF.
- BRASIL. Lei Federal n. 12.787, de 11 de jan. de 2013. Política Nacional de Irrigação. Brasília – DF.
- BRASIL. Senado Federal. Projeto de Lei do Senado PLS 465/2017. Altera a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, para introduzir os mercados de água como instrumento destinado a promover alocação mais eficiente dos recursos hídricos.

- CAMPOS, J. N., STUDART, T. M., & COSTA, A. M. Alocação e realocação do direito de uso da água: uma proposta de modelo de mercado limitado no espaço. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, p. 5-16, jun. 2002.
- CBH PARANAÍBA – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Deliberação n. 61 de 10 de março de 2016. Mecanismos e valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União. Goiânia, mar. 2016.
- CIRAD – *La Recherche Agronomique Pour le Développement*. CORMAS. Disponível em: <<http://cormas.cirad.fr/indexeng.htm>>. Acesso em: 06 de março de 2019.
- CLIMATE-DATA. CLIMA CRISTALINA, 2019. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/cristalina-43454/>>. Acesso em: 19/06/2019.
- COELHO, C. G. C., ABREU, C. G., RAMOS, R. M., MENDES, A. H. D., TEODORO, G., RALHA, C. G. MASE-BDI: agent-based simulator for environmental land change with efficient and parallel auto-tuning. *Springer*, v-45, Issue 3, p. 904-922. 2016
- CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP. Custo de Produção – Resumo: Agricultura Empresarial – Alho – Plantio Convencional – Irrigado – 2ª Safra – Cristalina – GO. Março de 2018a.
- CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP. Custo de Produção – Resumo: Agricultura Empresarial – Trigo – Plantio Direto – Alta Tecnologia – Safra de Inverno – Cascavel – PR. Março de 2018b.
- CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP. Custo de Produção – Resumo: Agricultura Empresarial – Trigo – Plantio Direto – Irrigado – Safra de Inverno – Brasília – DF. Março de 2018c.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de mar. de 2005. Diretrizes para a classificação de corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.
- DINAR, A., ROSENGRANT, M. W., & MEIZEN-DICK, R. *Water allocation mechanisms – principles and examples*. Washington: *World Bank*, 1997.
- DOOGE, J. C. *The Hydrologic Cycle as a Closed System*. *International Association of Scientific Hydrology*, p. 58-68, 1968.

- DOOGE, J. C. *Bring it all together. Hydrology and Earth System Sciences*, p. 3-14, 2005.
- EHRlich, P. J., & MORAES, E. A. Engenharia Econômica: Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento. São Paulo: Atlas, 2005.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Estudo aponta viabilidade de irrigar soja no sul de MS. EMBRAPA, novembro de 2015. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7236376/estudo-aponta-viabilidade-de-irrigar-soja-no-sul-de-ms>>. Acesso em: 17/03/2019.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Precipitação Pluviométrica em Planaltina, DF: análise de dados da estação principal da Embrapa Cerrados, 1974 a 2003. Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – 299, Planaltina – DF, 2010.
- FAO – *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*. Agricultura irrigada sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. Brasília: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, 2018.
- FAO – *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*. *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision*. ESA Working Paper No. 12-03, jun 2012.
- FAO – *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS* & WWC – *WORLD WATER COUNCIL*. *Towards a water and food secure future: Critical Perspectives for Policy-makers*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 2015.
- FERNANDES, D. S., HEINEMANN, A. B., PAZ, R. L. F., & AMORIM, A. de O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa de evapotranspiração de referência. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, p. 246-255, abr-jun 2012.
- FGV – FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS & EAESP – ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO. Instrumentos Econômicos aplicados à Gestão de Recursos Hídricos: Caminhos para sua adoção em situações de conflito pelo uso da água no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2018.

- FILHO, F. A., & PORTO, R. L. Mercado de Água e o Estado: Lições da Teoria dos Jogos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, p. 83-98, out-dez 2008.
- FURQUIM, M. G. Efeito da instituição da cobrança pelo uso da água na configuração agrícola irrigada em Cristalina - GO. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO, 2017.
- GARDNER, M. Mathematical Games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". *Scientific American* – 223, p. 120-123, out 1970.
- GIULIANI, M.; CASTELLETTI, A.; AMIGONI, F.; CAI, X. *Multiagent Systems and Distributed Constraint Reasoning for Regulatory Mechanism Design in Water Management. Journal of Water Resources Planning and Management* 141(4), 2015.
- GRIGNARD, A. TAILLANDIER, P.; GAUDOU, B.; VO, D-A.; HUYNH, N-Q.; DROGOUL, A. *GAMA 1.6: Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation*. In *PRIMA 2013: Principles and Practice of Multi-Agent Systems', Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 8291, p. 117-131, 2013.
- GRIMM, V. et al. *A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. Ecological Modeling* – 198, p. 115-126, 2006.
- GRIMM, V., BERGER, U., DEANGELIS, D. L., POLHILL, J. G., GISKE, J., & RAILSBACK, S. F. *The ODD protocol: A review and first update. Ecological Modelling* - 221, p. 2760-2768, 2010.
- GUERREIRO, L. M. M., MOLENA, L. A., MARCOMINI, L. R. S. Tomate – Oferta da 1ª parte da safra de inverno reduz neste mês. *Revista Hortifruti Brasil*, p.18, julho de 2018.
- HERRERA, D. J. Modelo comportamental com base em agentes para a gestão adaptativa de água: caso de estudo de consumo de água residencial urbana em Brazlândia-DF. Brasília: PTARH, 2018.
- IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2016/2017, Abril de 2017. *Análises e Indicadores do Agronegócio*. v. 12, n.6, junho de 2017.

- IFAG – INSTITUTO PARA O FORTALECIMENTO DA AGROPECUÁRIA DE GOIÁS & SENAR-GO – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Custos de Produção – Algodão Transgênico – GO. Outubro de 2018a.
- IFAG – INSTITUTO PARA O FORTALECIMENTO DA AGROPECUÁRIA DE GOIÁS & SENAR-GO – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Custos de Produção – Feijão 1ª Safra – Feijão Sequeiro – GO. Outubro de 2018b.
- IFAG – INSTITUTO PARA O FORTALECIMENTO DA AGROPECUÁRIA DE GOIÁS & SENAR-GO – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Custos de Produção – Feijão Irrigado – GO. Outubro de 2018c.
- IFAG – INSTITUTO PARA O FORTALECIMENTO DA AGROPECUÁRIA DE GOIÁS & SENAR-GO – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Custos de Produção – Milho 1ª Safra – Milho Transgênico<sup>3</sup> – GO. Outubro de 2018d.
- IFAG – INSTITUTO PARA O FORTALECIMENTO DA AGROPECUÁRIA DE GOIÁS & SENAR-GO – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Custos de Produção – Soja Convencional – GO. Outubro de 2018e.
- IFAG – INSTITUTO PARA O FORTALECIMENTO DA AGROPECUÁRIA DE GOIÁS & SENAR-GO – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Custos de Produção – Tomate Industria – GO. Outubro de 2018f.
- IRRIGO – ASSOCIAÇÃO DOS IRRIGANTES DE GOIÁS. Para ter alimento é preciso irrigar. Revista IRRIGO, p. 06-07, jan 2016<sup>a</sup>.
- IRRIGO – ASSOCIAÇÃO DOS IRRIGANTES DE GOIÁS. Sindicato Rural de Cristalina: Braço forte do produtor. Revista IRRIGO, p. 9, jan 2016b.
- JACTO. Calendário Agrícola: conheça as melhores épocas para plantar. Jacto, abril de 2018. Disponível em: < <https://blog.jacto.com.br/calendario-agricola-conheca-as-melhores-epocas-para-plantar/>> Acesso em: 05/04/2019.
- JENKINS, B., GILBERT, R., & NELSON, J. *The 2030 Water Resources Group: Collaboration and Country Leadership to Strengthen Water Security*. Harvard: Harvard Kennedy School, 2017.

- LOPES, A. V., & FREITAS, M. A. A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiencias brasileiras. REGA, p. 5-28, jan-jun 2007.
- MACAL, C. M., & NORTH, M. J. *Tutorial on agent-based modelling and simulation. Journal of Simulation* - 4, p. 15-162, 2010.
- MONTEPLAN. Relatório Técnico – Análise da Resolução ANA 562/2010 – Marco Regulatório Rio São Marcos. Cristalina – GO, nov 2011.
- NG, T. L., EHEART, J. W., CAI, X., & BRANDEN, J. B. *An agent-based model of farmer decision-making and water quality impacts at the watershed scale under markets for carbon allowances and second-generation biofuel crop. Water Resources Research* – 47, 2011.
- OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Water Resources Allocation: Sharing Risks and Opportunities*. Paris: OECD Studies on Water, 2015.
- OEL, P. R., KROL, M. S., HOEKSTRA, A. Y., & TADDEI, R. R. *Feedback mechanisms between water availability and water use in a semi-arid river basin: A spatially explicit multi-agent simulation approach. Environmental Modelling & Software* - 25, p. 433-443, 2010.
- OLIVEIRA, C., & VENTURINI, M. A. A utilização da cobrança pelo uso da água como instrumento de gestão da sustentabilidade. Anuário de Produção Acadêmica Docente, Anhanguera Educacional S.A. mar 2009.
- PINHEIRO, M. I. T., CAMPOS, J. N. B. e STUDART, T. M. C. Conflitos Pelo Uso da Água No Estado do Ceará: Um Estado de Caso. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre – Rio Grande do Sul, 2003.
- REANEY, S. M. *The use of agent based modelling techniques in hydrology: determining the spatial and temporal origin of channel flow in semi-arid catchments. Earth Surface Processes and Landforms - Willey InterScience*, jul 2007.
- RODELA, R., LIGTENBERG, A., BOSMA, R. *Conceptualizing Serious Games as a Learning-Based Intervention in the Context of Natural Resources and Environmental Governance. MDPI Water* – 11, 245, jan 2019.

- RODRIGUES, L. N. Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certezas e incertezas nas estimativas. *Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM*, v. 114, p.47-53, jul 2017.
- RUSSEL, S., & NORVIG, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. PEARSON, 2010.
- SCHMOLKE, A., THORBEEK, P., DEANGELIS, D. L., & GRIMM, V. *Ecological models supporting environmental decision making: a strategy for the future. Trends in Ecology & Evolution* – 25, p. 479-486, ago 2010.
- SECIMA – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. Outorgas – São Marcos, 2019. Disponível em: <[http://www.meioambiente.go.gov.br/images/imagens\\_migradas/upload/arquivos/2018-01/05-outorgas---sao-marcos.xls/](http://www.meioambiente.go.gov.br/images/imagens_migradas/upload/arquivos/2018-01/05-outorgas---sao-marcos.xls/)> Acesso em: 14/07/2019.
- SILVA, L. R. & NETO, J. F. C. A Sustentabilidade dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. *Univ. Hum*, 5 (1/2), 77-107, 2008.
- SOMENSI, A. Batata irrigada é sinônimo de qualidade e produtividade na Fazenda Primavera, em Itapeva, SP. *Revista Cultivar*, 01 de novembro de 2017. Disponível em: < <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/batata-irrigada-e-sinonimo-de-qualidade-e-produtividade-na-fazenda-primavera-em-itapeva-sp>>. Acesso em: 17/03/2019.
- THEROND, O; SIBERTIN-BLANC, C.; LARDY, R.; GAUDOU, B.; BALESTRAT, M.; HONG, Y.; LOUAIL, T.; NGUYEN, V. B.; PANZOLI, D.; SANCHEZ-PEREZ, J.; SAUVAGE, S.; TAILANDIER, P.; VAVASSEOUR, M.; MAZZEGA, P. *Integrated modelling of social-ecological systems: The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity problems 7th International Congress on Environmental Modelling and Software, San Diego, California, USA*, jun 2014.
- TRANI, P. E., FOLTRAN, D. E., CAMARGO, M. S., TIVELLI, S. W., PASSOS, F. A. Produtividade de cultivares de alho na região paulista do Tietê. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.3, p.713-716, 2008.
- VILELA, N. H. Custos e Rentabilidade – Cebola. AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2011. Disponível em: <

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cebola/,arvore/CONT000gn9eurvn02wx5ok0liq1mqlokosye.html>>. Acesso em: 19/11/2018.

WILENSKY, U. NetLogo. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>. Acesso em: 6 de março de 2019. *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University*. Evanston, IL, 1999.

WOOLDRIDGE, M. *An introduction to MultiAgent Systems*. Liverpool: John Wiley & Sons LTD, 2002.

ZHOU, Q., & MAYER I. S. Models, Simulations and Games for Water Management: A Comparative Q-Method Study in The Netherlands and China. *MDPI Water* – 10,10, dez 2017.