

Estudo comparativo em GAMA e Google Earth Engine: possibilidades para a área de sistemas multiagente*

Míriam Born¹, Fernanda P. Mota¹, Giovani Farias¹,
Matheus Gonçalves², Bruna Leitzke², Marilton Aguiar¹, Diana F. Adamatti²


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

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

{mbborn,marilton}@inf.ufpel.edu.br, brunaleitzke@hotmail.com,
{nandapm2010,dianaada,giovanifarias,m2gonsalvez}@gmail.com

Abstract. *The recent advances in information and communication technologies, which provide an improvement in the collection and analysis of hydrological data, and in the understanding of the physical processes of water allow the implementation of simulation models closer to reality. This paper aims to present a comparison of the main features and functionality of Google Earth and GAMA tools. These two platforms provide the integration of technologies present in geographic information systems as multi-agent systems, which make them interesting for the development of applications in the scope of the environmental area and, more specifically in this work, in the management of water resources, with the study of the Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo watershed. The result of this analysis will guide us to the definition of the most suitable platform for the future modeling of the system.*

Resumo. *Os recentes progressos nas tecnologias de informação e comunicação, que propiciam a melhora na coleta e na análise de dados hidrológicos, e no entendimento dos processos físicos da água permitem a implementação de modelos de simulação mais próximos da realidade. Este artigo tem como objetivo apresentar uma comparação das principais características e funcionalidades das ferramentas Google Earth e GAMA. Estas duas plataformas propiciam a integração das tecnologias presentes em sistemas de informação geográficas com sistemas multiagente, o que as tornam interessantes para o desenvolvimento de aplicações no âmbito da área ambiental e, mais especificamente neste trabalho, no gerenciamento de recursos hídricos, tendo como estudo de caso a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. O resultado desta análise nos guiará para a definição da plataforma mais adequada para a modelagem futura do sistema.*

* O trabalho Estudo comparativo em GAMA e Google Earth Engine: possibilidades para a área de sistemas multiagente de Míriam Born, Fernanda P. Mota, Giovani Farias, Matheus Gonçalves, Bruna Leitzke, Marilton Aguiar, Diana F. Adamatti está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

1. Introdução

Os avanços na hidro-informática auxiliam no entendimento dos processos físicos da água. Além disso, este progresso ajuda na melhoria da coleta e análise de dados hidrológicos, no desenvolvimento de tecnologias da informação e comunicação e de sistemas de informação geográfica [Simmonds et al. 2019].

O Modelo Baseado em Agentes (do inglês, *Agent-Based Model* – ABM) foi elaborado a partir da inteligência artificial [Macal and North 2005]. O ABM está sendo utilizado para simular decisões humanas ao modelar sistemas humanos e naturais complexos [An 2012] e sistemas socioecológicos [Filatova et al. 2013].

A maioria das aplicações dos modelos baseados em agentes no gerenciamento e planejamento de recursos hídricos contava com sistemas hipotéticos (construídos a partir de hipóteses) para teste de métodos e análise de políticas. Embora, estes estudos possam ajudar a fornecer orientações para avaliar ou projetar políticas de gerenciamento de água de forma exploratória, ainda existe uma lacuna na tradução dos resultados numéricos destes sistemas para a implementação de políticas de água no mundo real.

O trabalho de [Lin et al. 2020] teve como objetivo preencher essa lacuna, no qual foi desenvolvido um ABM para o sistema de alocação de água baseado em depósito de água. O ABM foi então calibrado com relação aos usos anuais de água registrados de 2007 a 2014 e foi utilizado para avaliar políticas de água e desenvolver estratégias eficazes de gerenciamento de água na região de Bakken.

A maioria das aplicações ABM na literatura atual se apoiaram em sistemas hipotéticos para teste de métodos e análise de políticas. Além disso, os modelos baseados em agentes são frequentemente criticados por não serem calibrados externamente (ou validados) com dados empíricos coletados no mundo real [Crooks et al. 2008, Berglund 2015]. [Vicuña et al. 2012] forneceu uma breve revisão bibliográfica sobre utilização do ABM no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos nas últimas duas décadas.

[Kandiah et al. 2016, Tourigny and Fillion 2019] definiram os agentes como usuários finais da água urbana ao abordar problemas no suprimento e na demanda de água. [Ding et al. 2016] construíram agentes para a gestão da água das bacias hidrográficas. Embora a modelagem baseada em agentes possa ajudar a fornecer orientações para avaliar e projetar ferramentas e políticas de gerenciamento de água de forma exploratória [Noël and Cai 2017].

O principal objetivo deste trabalho é estabelecer um comparativo entre as funcionalidades da plataforma GAMA (*GIS Agent-based Modeling Architecture*)¹ e das ferramentas do Google Earth Engine². Os objetivos específicos visam identificar e avaliar qual plataforma seria mais adequada no contexto de análise de dados em recursos hídricos. Além disso, avaliamos a disponibilidade de dados proporcionada por cada uma e também analisamos a possibilidade de agregar o GAMA no GEE. Para análise deste comparativo realizamos um estudo de caso em ambas as plataformas.

Neste estudo, buscamos por ferramentas que possibilitam a análise de dados georreferenciados e que permitam a integração de simulação baseada em agentes. Embora,

¹<https://gama-platform.github.io/>

²<https://code.earthengine.google.com/>

não pareça justa, em uma primeira análise, comparar as plataformas GAMA e GEE, pelo fato do GAMA permitir a integração de simulação baseada em agentes. Acreditamos que o GEE permite uma análise muito mais aprimorada de dados georreferenciados que o GAMA o que justificaria nosso estudo, pois dependendo da aplicação, há necessidade de manipular estas informações de forma rápida e objetiva, que no GAMA exigiria maior esforço por não conter estes dados já presentes na plataforma.

O artigo está organizado como segue. Nas Seções 2.1 e 2.2, descrevemos as plataformas Google Earth e GAMA, respectivamente. Na Seção 3 descrevemos a metodologia para comparação das plataformas. Na Seção 4 descrevemos os resultados e as discussões. Por fim, na Seção 5 apresentamos as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Comparação entre as Plataformas Google Earth Engine e GAMA

Nesta seção, comparamos as plataformas Google Earth Engine e GAMA a partir dos seguintes critérios: i) disponibilidade de dados georreferenciados na plataforma; ii) integração de informações georreferenciadas a plataforma; iii) manipulação de informações georreferenciadas; iv) integração de sistemas multiagente na plataforma; v) linguagem de programação utilizada na plataforma; vi) facilidade de utilização da Interface das plataformas; vii) utilização das plataformas no contexto dos recursos naturais; viii) integração da plataforma com outras ferramentas; ix) processamento grande volume de dados; e, x) processamento pequeno volume de dados.

2.1. Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem que pode acessar e analisar com eficiência numerosas fontes com grande volume de dados (petabytes) geoespaciais (como imagens de sensoriamento remoto Landsat e MODIS, entre outros) a partir de servidores do Google em um período de tempo menor e em computadores que não tem um grande processamento [Gorelick et al. 2017]. Um exemplo da interface do GEE pode ser visualizado na Figura 1.

O GEE utiliza um sistema de processamento paralelo para realizar o cálculo em um grande número de máquinas. Para habilitar esse processamento, o GEE tira proveito das técnicas padrão comumente usadas por linguagens funcionais, como transparência referencial e avaliação lenta, para ganhos significativos de otimização e eficiência [Gorelick et al. 2017].

Após a disponibilidade gratuita da série Landsat em 2008, o Google arquivou todos os conjuntos de dados e os vinculou ao mecanismo de computação em nuvem, para uso em código aberto. O arquivo atual de dados inclui os dados de outros satélites, bem como conjuntos de dados vetoriais baseados em sistemas de informações geográficas (*GIS – Geographic Information System*), modelos sociais, demográficos, climáticos, de elevação digital e camadas de dados climáticos [Gorelick et al. 2017].

Existem várias maneiras de interagir com a plataforma GEE. A linguagem de programação utilizada nesta ferramenta é o JavaScript, que facilita o desenvolvimento de aplicativos *mobile*, jogos e aplicações de aprendizagem de máquina. Esta plataforma é composta pelos seguintes módulos [Gorelick et al. 2017, Kumar and Mutanga 2019]: i) *Code Editor* é uma IDE para escrever e executar *scripts*; ii) *Explorer* é um aplicativo para

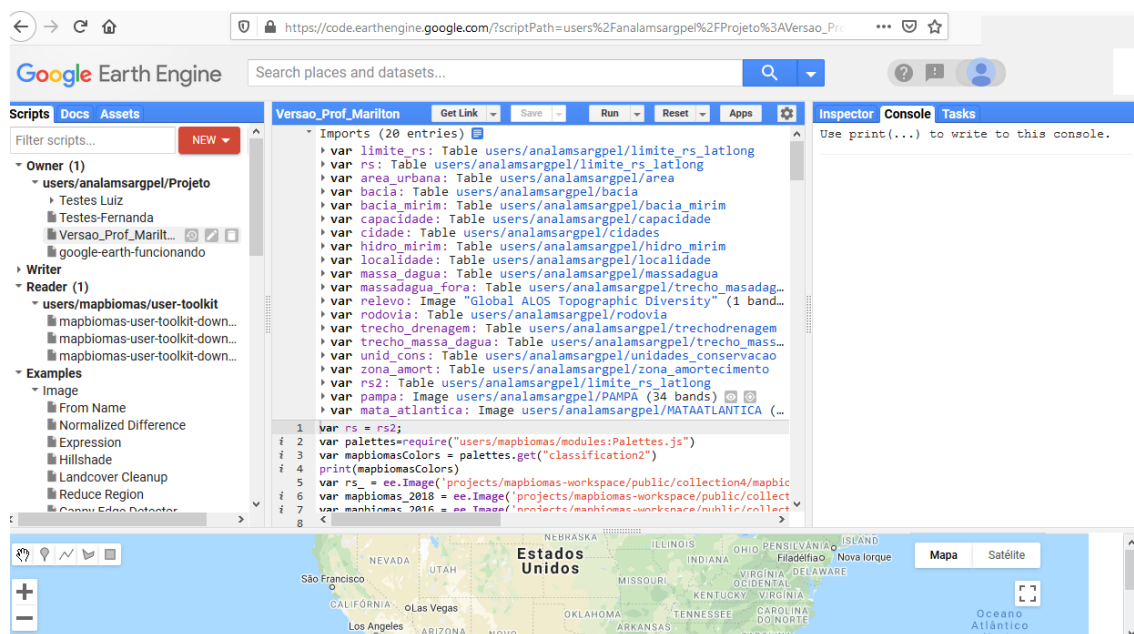


Figura 1. Plataforma GEE

explorar o catálogo de dados do GEE e executar análises simples; e, iii) bibliotecas cliente em Python e JavaScript para auxiliar os usuários no desenvolvimento de seus protótipos.

O *front-end* de fácil acesso fornece um ambiente conveniente para o desenvolvimento interativo de dados e algoritmos. Os usuários podem adicionar e selecionar seus próprios dados e coleções, enquanto usam os recursos de nuvem do Google para realizar todo o processamento. O GEE permite que cientistas, pesquisadores independentes e entusiastas explorem esse enorme banco de dados para detecção de mudanças, mapeamento de tendências e quantificação de recursos na superfície da Terra. A plataforma GEE não necessita de grande poder de processamento ou software muito complexo, o que permite a pesquisadores com poucos recursos, em países de terceiro mundo, terem a mesma capacidade de realizar análises que países desenvolvidos [Kumar and Mutanga 2019].

[Shami and Ghorbani 2019, Hakdaoui et al. 2020] investigaram e avaliaram a complementaridade dos dados do Landsat, Sentinel-2 e do Sentinel-1 em um ambiente no deserto de Imlili Sebkh. Os autores destacam a potencial aplicação do GEE no processamento de grandes quantidades de dados de satélite para observação de cavidades de água salgada permanentes, úmidas/secas, espaciais-temporais, livres e de longo prazo, além do monitoramento de umidade de Imlili Sebkh. Os resultados mostram que as imagens de radar não são apenas adequadas para o estudo de áreas desérticas, mas também para mapear as cavidades de água nas zonas úmidas do deserto.

[Ou et al. 2020] geraram mapas de estufa multitemporais a partir de imagens Landsat e do GEE da região de preservação natural de Shouguang (norte da China) no período de 1990 a 2018. Além disso, avaliaram e quantificaram a dinâmica espaço-temporal o aumento da agricultura nesta área de estudo. Os resultados demonstraram a vantagem de utilizar imagens do Landsat e o GEE para monitorar o desenvolvimento de estufas em um período de longo prazo e forneceram uma perspectiva mais intuitiva para entender o processo dessa abordagem especial de produção agrícola do que os estudos relevantes das

ciências sociais.

[Xia et al. 2019] investigaram as mudanças climáticas nas águas superficiais da bacia do rio Huai que apresentaram impactos significativos nas plantas agrícolas, no equilíbrio ecológico e no desenvolvimento socioeconômico. Para entender as mudanças nesta região, os autores utilizaram cenas disponíveis do Landsat TM, ETM+ e do OLI no período de 1989 a 2017 e processaram os dados na plataforma GEE. Segundo os autores, compreender as variações nas áreas de corpos d'água e os fatores de controle pode apoiar a designação e implementação de práticas sustentáveis de gerenciamento de água nos usos agrícola, industrial e doméstico.

[Shami and Ghorbani 2019] investigaram o armazenamento de água superficial e subterrânea na região do Irã que tem clima quente e árido. Os autores analisaram o armazenamento de água a partir dos dados do satélite GRACE e a precipitação anual total por meio do CHIRPS no GEE no período de 2003 a 2017. Os resultados obtidos indicam uma redução nos níveis de armazenamento de água no período entre 2008 e 2017. Além disso, os dados de precipitação anual mostram que a quantidade de chuva desde o ano de 2008 diminuiu nesta região.

Para esta revisão bibliográfica, realizamos uma busca por trabalhos que relacionassem a plataforma GEE, recursos hídricos e sistemas multiagente. No entanto, não foram encontrados trabalhos que envolvessem sistemas multiagentes.

2.2. Gama

GAMA (*GIS Agent-based Modeling Architecture*) é uma plataforma de desenvolvimento, modelagem e simulação que é constituída de ferramentas que auxiliam na concepção de modelos complexos. O GAMA é uma plataforma interessante de ser analisada por fornecer recursos como: a integração entre programação baseada em agentes, gerenciamento de dados geográficos, ferramentas de visualização e representação em vários níveis. Um exemplo da interface do GAMA pode ser visualizado na Figura 2.

A ferramenta é desenvolvida por diversas equipes da unidade internacional de pesquisa UMMISCO (*Unité de Modélisation Mathématique et Informatique des Systèmes Complexes*) no IRD (*Institut de Recherche pour le Développement*) da UPMC (*Université Pierre et Marie Curie*) desde o ano 2007 sendo um projeto *open source* [Born et al. 2019].

A plataforma foi desenvolvida na linguagem Java, que possibilita a incorporação de outras ferramentas baseadas em agentes como Jason, Jadex, Jade, entre outras [Born et al. 2019]. Um aspecto bastante interessante desta é que a mesma oferece uma linguagem de modelagem completa denominada GAML (*GAMA Modeling Language*).

Um editor é disponibilizado na plataforma com intuito de facilitar a modelagem e o desenvolvimento de projetos dos usuários. GAMA abrange ferramentas usuais de IDEs sendo algumas: coloração de sintaxe, formatação e adição de comentários nas linhas de código, compilação e preenchimento automático, e também, ampla documentação online para consulta, a qual possibilita ao usuário a pesquisa de informações sobre palavras-chave, operadores e declarações. E também, a partir deste ambiente de desenvolvimento integrado, a ferramenta propicia a formulação e construção de modelos baseados em agentes, com diferentes conjuntos de dados e possibilidade de integrar e manipular sistemas

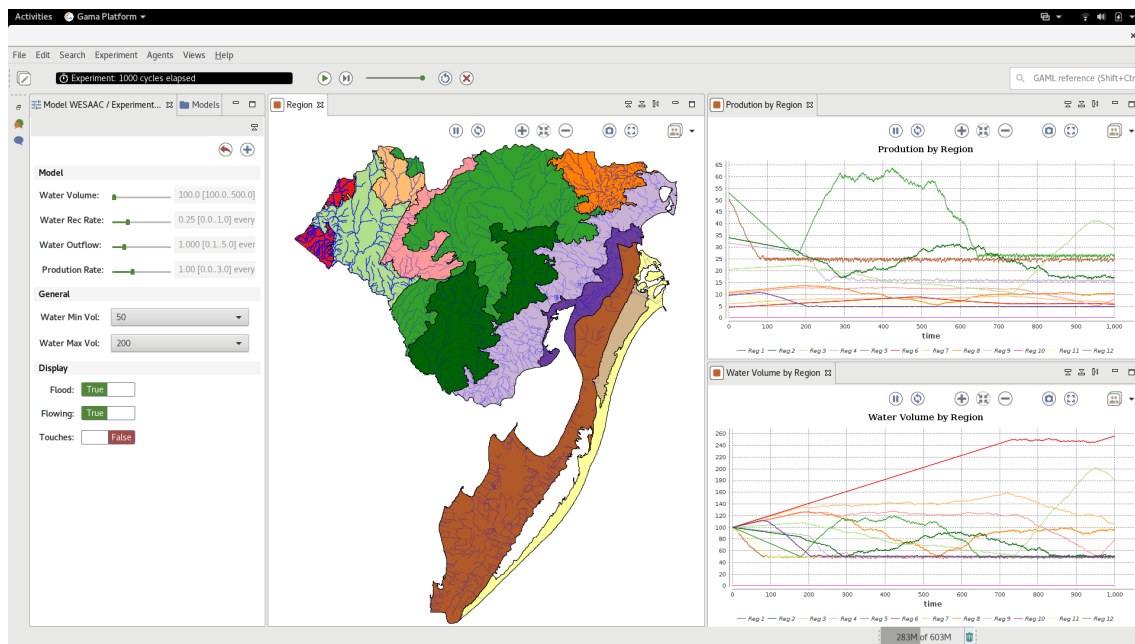


Figura 2. Interface da bacia Mirim-São Gonçalo na plataforma GAMA

de informações geográficas.

GAMA apresenta também flexibilidade e facilidade de interface permitindo ao usuário organizar e visualizar de maneira simples os painéis disponíveis para o desenvolvimento dos modelos. Na ferramenta de inspeção/verificação de agentes é possível obter informações sobre cada um destes ou de vários, ademais no mecanismo de busca da plataforma obtêm-se informações e exemplo de uso de diversos operadores.

GAMA é amplamente utilizada em diversos modelos da área de recursos naturais, como nas seguintes pesquisas [Nguyen Vu et al. 2009, Taillandier et al. 2012, Grignard et al. 2013, Drogoul et al. 2013]. Em [Chu et al. 2009] foi desenvolvido um sistema de apoio a decisões de alocação e planejamento de recursos para emergências de desastres naturais que ocorrem em áreas urbanas, sendo que o protótipo de interface com o usuário foi projetado na ferramenta GAMA.

No trabalho de [Amouroux et al. 2009], a plataforma GAMA foi utilizada com dois propósitos: i) na modelagem de propagação da gripe aviária para auxiliar na otimização da rede de monitoramento a partir de uma base de dados geolocalizados; e, ii) na utilização de simulação interativa que visa auxiliar na tomada de decisão durante situações de pós-desastre em área urbana.

Em [Thérond et al. 2014], os autores abordam a gestão sustentável de recursos hídricos como o uso da terra e sistemas de governança da água. O estudo utilizou o modelo de simulação MAELIA voltado à análise de questões políticas, desenvolvido na plataforma GAMA, o qual permite a realização de avaliações integradas no nível da bacia hidrográfica de estratégias relacionadas à gestão destes recursos.

O estudo de [Amouroux et al. 2008] apresenta a integração de um modelo baseado em agentes e um modelo ambiental baseado em GIS pode atuar como um laboratório virtual para epidemiologia. A construção do modelo foi implementada na plataforma

GAMA e adaptado aos requisitos epidemiológicos, contribuindo assim para a exploração das causas da doença, neste contexto, a influenza aviária.

[Gaudou et al. 2014] apresentam um estudo sobre a adaptação às mudanças climáticas ou mitigação de desastres. O projeto MAELIA, construído na plataforma GAMA, visa a simulação baseada em agentes para estudar os impactos ambientais. Este estudo de caso é aplicado na bacia hidrográfica francesa de Adour-Garonne, a mais afetada na França por escassez de água durante o período de baixa maré.

Contudo, observa-se que a plataforma GAMA oferece requisitos interessantes no desenvolvimento de modelos que utilizam SMA (Sistemas Multiagente) e dados georreferenciados de locais específicos, apresentando notável vantagem de sua utilização. Porém, uma das desvantagens é, dependendo do modelo, do número de agentes e dos dados a serem utilizados, o tempo de carregamento e processamento do modelo é bastante lento. Outra desvantagem é que, diferentemente do GEE, GAMA não carrega automaticamente informações georreferenciadas. Estes dados precisam ser manipulados em arquivo separado e serem carregados na plataforma.

3. Estudo de Caso

Neste trabalho, focamos a aplicação-piloto do trabalho no Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem as cidades de Rio Grande e Pelotas. Modelamos a gestão da bacia hidrográfica a partir da base de dados do estado do Rio Grande do Sul (RS), por meio da plataforma GAMA e GEE, que permitem lidar facilmente com dados geoespaciais e vetoriais de sistemas de informação geográfica.

O modelo de dados GIS utilizado neste trabalho, representa uma base de dados com informações geográficas, que encontra-se em arquivos no formato *shapefile*, contendo informações geoespaciais da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, disponibilizados pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente do RS.

Estes dados são relacionados a área urbana na região do RS, a bacia hidrográfica litorânea no RS, a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e do canal São Gonçalo, a capacidade da Lagoa Mirim, às cidades do RS próximas à Lagoa dos Patos e Mirim, ramificações da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo e adjacências, às cidades do Uruguai banhadas pela Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, a parte do oceano que cerca o Rio Grande do Sul, a Lagoa dos Patos e áreas de preservação ao redor da Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo.

Esses arquivos, descrevem espacialmente pontos, linhas e polígonos para representar as regiões, capacidades de uso do solo e os rios presentes na bacia. Além disso, também foram utilizados dados de satélites relacionados a chuva, relevo e vegetação. O modelo hidrográfico, neste caso, é composto por 12 regiões no GAMA e 37 no GEE, com características distintas.

A interface de simulação (apresentada na Figura 2) do modelo hidrográfico da bacia Mirim-São Gonçalo desenvolvido na plataforma GAMA, possibilita a representação gráfica (mapa) da variação dos volumes dos rios e alteração das cores das regiões que secam, bem como, a visualização em gráfico de linhas da variação da taxa de produção e do volume de água em cada região. Além disso, permite atribuir diferentes valores aos

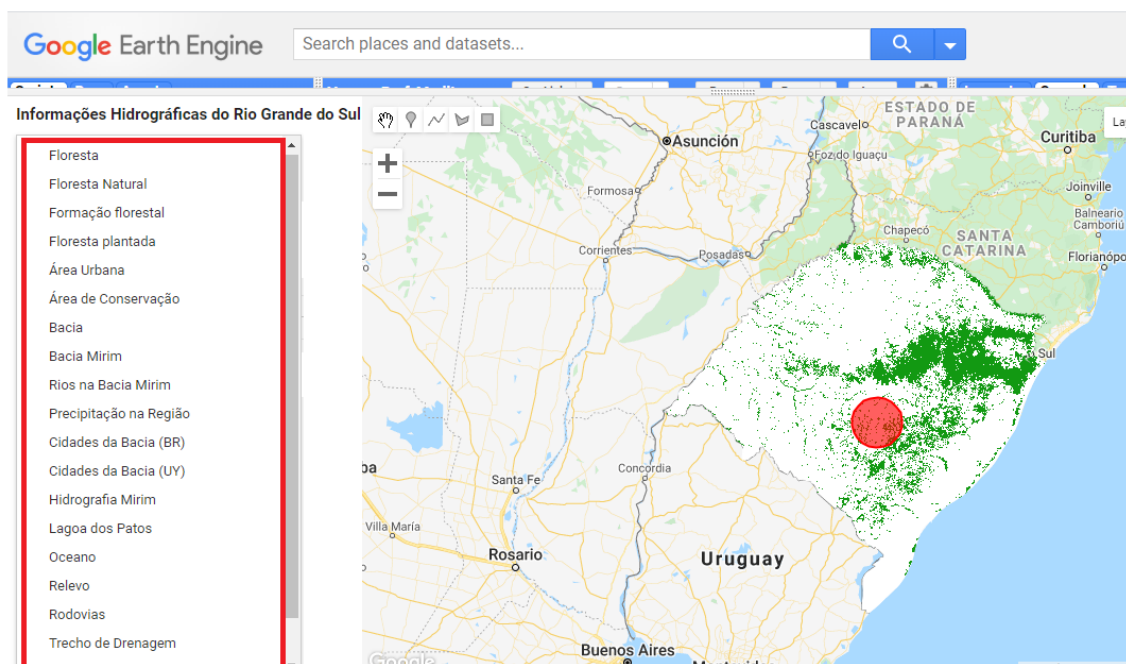


Figura 3. As camadas do modelo hidrográfico da bacia Mirim-São Gonçalo desenvolvida no GEE, destacadas pelo retângulo vermelho

diversos parâmetros de configuração do ambiente.

Já a simulação do modelo hidrográfico da bacia Mirim-São Gonçalo desenvolvida no GEE, possibilita a representação em mapa, gráficos da variação de precipitação, análise de cobertura e uso do solo, bem como podemos observar a vegetação da região (Figura 3). No entanto, a integração do GEE com os sistemas multiagente não foi desenvolvida neste trabalho, por encontrarmos dificuldade em integrar esta plataforma com PADE³.

4. Discussões

Este estudo encontra-se em fase de desenvolvimento, sendo assim, torna-se pertinente o estudo de ferramentas que possam auxiliar na pesquisa de sistemas multiagente aplicados a área de recursos hídricos e que possibilitem a integração de dados georreferenciados como apresentam a plataforma GAMA e as ferramentas GEE. Na Tabela 1 podemos observar um resumo comparativo dos critérios avaliados neste trabalho, no qual verificamos as vantagens e desvantagens das plataformas avaliadas neste estudo.

A plataforma GAMA consegue separar esses itens em diferentes camadas temáticas e representá-los de forma independente, permitindo trabalhar com eles de modo rápido e simples. Deste modo, cada região ou rio pode ser considerado um agente específico com suas próprias características e atributos. Na Figura 2, podemos visualizar o formato e localização de cada região. GAMA permite ao usuário relacionar as informações existentes através da posição e topologia dos objetos, gerando assim novas informações.

Já o GEE separa os itens em diferentes camadas o que permite trabalhar de modo rápido e simples com cada camada. Deste modo, cada região ou rio pode ser considerado

³https://pade.readthedocs.io/pt_BR/latest/

Tabela 1. Comparação entre as plataformas GEE e GAMA, no qual ✓ significa que a plataforma atende ao critério, X que a plataforma não atende ao critério.

Crítérios	GEE	GAMA
Disponibilidade de dados georreferenciados na plataforma	✓	✓
Integração de informações georreferenciadas a plataforma	✓	X
Manipulação de informações georreferenciadas	✓	✓
Integração de sistemas multiagente na plataforma	X	✓
Linguagem de programação utilizada na plataforma	JavaScript e Python	Java e GAML
Facilidade de utilização da Interface das plataformas	✓	✓
Utilização das plataformas no contexto dos recursos naturais	✓	✓
Integração da plataforma com outras ferramentas	✓	✓
Processamento grande volume de dados	✓	X
Processamento pequeno volume de dados	✓	✓

um elemento que foi construído a partir de uma imagem ou conjunto de dados georreferenciados. Na Figura 3, podemos visualizar as camadas no GEE, o qual, permite ao usuário relacionar as informações existentes através da sobreposição das camadas, gerando assim novas informações.

A partir deste estudo, podemos observar que a simulação multiagente é inerente a plataforma GAMA, enquanto que para construirmos a mesma simulação no GEE necessitamos desenvolver um modelo complexo através da integração entre programação baseada em agentes e dados georreferenciados. Para a utilização do GEE com sistemas multiagente, será preciso integrar o GEE a plataforma PADE⁴. Além disso, não poderíamos utilizar o poder de compartilhamento e auxílio ao desenvolvimento proporcionado pela plataforma GEE, pois necessitamos alterar a linguagem de programação para Python, que não está presente na ferramenta online e fazer toda a integração entre as diferentes plataformas: PADE, GEE.

É importante ressaltar que ambas plataformas oferecem recursos satisfatórios para a modelagem e implementação neste contexto da bacia hidrográfica. Analisando o aspecto de modelagem do sistema multiagente, GAMA permite melhor adaptação devido a programação de agentes incorporada à plataforma. No GEE este tipo de integração é mais complexo. Embora, o GEE é mais adequado para grandes volumes de dados, integração nativa de informações georreferenciadas e processamento de grandes volumes de dados, optamos neste estudo pela ferramenta GAMA por nos possibilitar a fácil integração de sistemas multiagente.

5. Conclusão

Esta pesquisa avaliou a utilização de Simulação Baseada em Multiagente (MABS – *Multiagent Based Simulation*) na gestão participativa dos recursos hídricos, mais especificamente, utilizando como base os dados do estado do Rio Grande do Sul e focando a aplicação-piloto do trabalho no Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem as cidades de Rio Grande e Pelotas.

⁴https://pade.readthedocs.io/pt_BR/latest/

Nossa principal contribuição foi estabelecer um comparativo entre as funcionalidades da plataforma GAMA e as ferramentas GEE, tendo como objetivo principal identificar e avaliar qual ferramenta é mais adequada ao contexto de análise de dados em recursos hídricos. Além disso, avaliamos a disponibilidade de dados proporcionada por cada uma e também analisamos a possibilidade de integrá-las. Para análise deste comparativo realizamos um estudo de caso em ambas as plataformas.

Como resultado, podemos observar que as duas plataformas propiciam a integração de sistemas de dados georreferenciados, o que as torna interessantes no estudo de caso da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo no âmbito da área de recursos hídricos. Para esta pesquisa, realizamos uma revisão bibliográfica em busca de trabalhos que relacionam a plataforma GEE com os recursos hídricos e sistemas multiagente. No entanto, não encontramos trabalhos na literatura.

Neste trabalho, modelamos a gestão da bacia hidrográfica a partir da base de dados do estado do Rio Grande do Sul, focando a aplicação-piloto do trabalho no Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem as cidades de Rio Grande e Pelotas por meio da plataforma GAMA e das ferramentas GEE, que permite lidar facilmente com dados geoespaciais e vetoriais de sistemas de informação geográfica. Como resultado deste estudo podemos observar que a simulação multiagente é inerente a ferramenta GAMA, enquanto que para construirmos a mesma simulação no GEE necessitamos desenvolver um modelo complexo.

Neste estudo podemos observar que ambas plataformas oferecem recursos satisfatórios para a modelagem e implementação de problemas relacionados a recursos naturais. Embora, o GEE é mais adequado para grandes volumes de dados, integração nativa de informações georreferenciadas e processamento de grandes volumes de dados, optamos neste estudo pela ferramenta GAMA por nos possibilitar a fácil integração de sistemas multiagente.

Como trabalhos futuros pretendemos testar a integração entre as plataformas PADE e GEE. Além disso, gostaríamos de realizar um teste de interface e de funcionalidade, de forma a avaliar qual é a mais viável de utilizarmos e após a análise melhorar as funcionalidades da plataforma selecionada.

Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/Brasil) e a a Agência Nacional de Águas (ANA/Brasil) – Pró-Recursos Hídricos Chamada N° 16/2017, pelo auxílio financeiro no desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- Amouroux, E., Chu, T.-Q., Boucher, A., and Drogoul, A. (2009). GAMA: An environment for implementing and running spatially explicit multi-agent simulations. In Ghose, A., Governatori, G., and Sadananda, R., editors, *Agent Computing and Multi-Agent Systems*, pages 359–371, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- Amouroux, E., Desvaux, S., and Drogoul, A. (2008). Towards virtual epidemiology: An agent-based approach to the modeling of h5n1 propagation and persistence in north-

- vietnam. In Bui, T. D., Ho, T. V., and Ha, Q. T., editors, *Intelligent Agents and Multi-Agent Systems*, pages 26–33, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- An, L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models. *Ecological Modelling*, 229:25–36.
- Berglund, E. Z. (2015). Using agent-based modeling for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(11):04015025.
- Born, M., Leitzke, B. S., Farias, G., Aguiar, M., and Adamatti, D. F. (2019). Modelagem baseada em agentes para análise de recursos hídricos. In *Anais do XIII Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações (WESAAC 2019)*, pages 107–118, Florianópolis/SC. wesaac.c3.furg.br.
- Chu, T.-Q., Drogoul, A., Boucher, A., and Zucker, J.-D. (2009). Interactive learning of independent experts’ criteria for rescue simulations. *J. UCS*, 15:2701–2725.
- Crooks, A., Castle, C., and Batty, M. (2008). Key challenges in agent-based modelling for geo-spatial simulation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(6):417–430.
- Ding, N., Erfani, R., Mokhtar, H., and Erfani, T. (2016). Agent based modelling for water resource allocation in the transboundary Nile river. *Water*, 8(4):139.
- Drogoul, A., Amouroux, E., Caillou, P., Gaudou, B., Grignard, A., Marilleau, N., Taillandier, P., Vavasseur, M., Vo, D.-A., and Zucker, J.-D. (2013). Gama: Multi-level and complex environment for agent-based models and simulations. In *Proceedings of the 2013 Int. Conf. on Aut. Agen. and Multi-agent Sys.*, AAMAS ’13, pages 1361–1362, Richland, SC. Int. Fou. for Aut. Agen. and Mult. Sys.
- Filatova, T., Verburg, P. H., Parker, D. C., and Stannard, C. A. (2013). Spatial agent-based models for socio-ecological systems: challenges and prospects. *Environmental modelling & software*, 45:1–7.
- Gaudou, B., Sibertin-Blanc, C., Therond, O., Amblard, F., Auda, Y., Arcangeli, J.-P., Balestrat, M., Charron-Moirez, M.-H., Gondet, E., Hong, Y., Lardy, R., Louail, T., Mayor, E., Panzoli, D., Sauvage, S., Sánchez-Pérez, J.-M., Taillandier, P., Van Bai, N., Vavasseur, M., and Mazzega, P. (2014). The MAELIA multi-agent platform for integrated analysis of interactions between agricultural land-use and low-water management strategies. In Alam, S. J. and Parunak, H. V. D., editors, *Multi-Agent-Based Simulation XIV*, pages 85–100, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R. (2017). Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202:18–27.
- Grignard, A., Taillandier, P., Gaudou, B., Vo, D. A., Huynh, N. Q., and Drogoul, A. (2013). Gama 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation. In Boella, G., Elkind, E., Savarimuthu, B. T. R., Dignum, F., and Purvis, M. K., editors, *PRIMA 2013: Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, pages 117–131, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- Hakdaoui, S., Emran, A., Pradhan, B., Qninba, A., Balla, T. E., Mfondoum, A. H. N., Lee, C.-W., and Alamri, A. M. (2020). Assessing the changes in the moisture/dryness

- of water cavity surfaces in imlili sebkha in southwestern morocco by using machine learning classification in google earth engine. *Remote Sensing*, 12(1):131.
- Kandiah, V. K., Berglund, E. Z., and Binder, A. R. (2016). Cellular automata modeling framework for urban water reuse planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(12):04016054.
- Kumar, L. and Mutanga, O. (2019). *Google Earth Engine Applications*. MDPI.
- Lin, Z., Lim, S. H., Lin, T., and Borders, M. (2020). Using agent-based modeling for water resources management in the bakken region. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(1):05019020.
- Macal, C. M. and North, M. J. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulation. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.*, pages 14–pp. IEEE.
- Nguyen Vu, Q. A., Gaudou, B., Canal, R., and Hassas, S. (2009). Coherence and robustness in a disturbed mas. In *2009 IEEE-RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies*, pages 1–4.
- Noël, P. H. and Cai, X. (2017). On the role of individuals in models of coupled human and natural systems: Lessons from a case study in the republican river basin. *Environmental Modelling & Software*, 92:1–16.
- Ou, C., Yang, J., Du, Z., Liu, Y., Feng, Q., and Zhu, D. (2020). Long-term mapping of a greenhouse in a typical protected agricultural region using landsat imagery and the google earth engine. *Remote Sensing*, 12(1):55.
- Shami, S. and Ghorbani, Z. (2019). Investigating water storage changes in iran using grace and chirps data in the google earth engine system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Simmonds, J., Gómez, J. A., and Ledezma, A. (2019). The role of agent-based modeling and multi-agent systems in flood-based hydrological problems: a brief review. *Journal of Water and Climate Change*.
- Taillandier, P., Vo, D.-A., Amouroux, E., and Drogoul, A. (2012). Gama: A simulation platform that integrates geographical information data, agent-based modeling and multi-scale control. In Desai, N., Liu, A., and Winikoff, M., editors, *Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, pages 242–258, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- Thérond, O., Sibertin-Blanc, C., Lardy, R., Gaudou, B., Balestrat, M., Hong, Y., Louail, T., Nguyen, V. B., Panzoli, D., Sanchez-Perez, J.-M., Sauvage, S., Taillandier, P., Vavasseur, M., and Mazzega, P. (2014). Integrated modelling of social-ecological systems: The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity problems. In *7th International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs 2014)*, page pp. 1, San Diego, California, United States.
- Tourigny, A. and Fillion, Y. (2019). Sensitivity analysis of an agent-based model used to simulate the spread of low-flow fixtures for residential water conservation and evaluate energy savings in a canadian water distribution system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(1):04018086.

- Vicuña, S., McPhee, J., and Garreaud, R. D. (2012). Agriculture vulnerability to climate change in a snowmelt-driven basin in semiarid chile. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(5):431–441.
- Xia, H., Zhao, J., Qin, Y., Yang, J., Cui, Y., Song, H., Ma, L., Jin, N., and Meng, Q. (2019). Changes in water surface area during 1989–2017 in the huai river basin using landsat data and google earth engine. *Remote Sensing*, 11(15):1824.