



Visualizador de água e solo: uma ferramenta de suporte ao gerenciamento de recursos naturais e sua aplicabilidade em sistemas multiagente

Fernanda Pinto MOTA^{1*}, Matheus M. GONÇALVES², Diana Francisca ADAMATTI²,
Marilton Sanchotene de AGUIAR³

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Eletrônica e Computação, Universidade Católica de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

²Centro de Ciências Computacionais, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.

³Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

E-mail: nandapm2010@gmail.com*

ORCID: (0000-0002-7884-6562; 0000-0003-4588-9547; 0000-0003-3829-3075; 0000-0002-5247-6022)

Submetido em 19/05/2022; Aceito em 14/07/2022; Publicado on 16/09/2022.

RESUMO: Os recursos e serviços hídricos estão diretamente ligados ao crescimento econômico e à sustentabilidade ambiental. Devido a isso, é importante aperfeiçoarmos a coleta, a análise e a percepção dos processos físicos da água. O objetivo deste trabalho é identificar e avaliar como a plataforma Google Earth Engine pode auxiliar no contexto de análise de dados em recursos hídricos, bem como realizar a integração inicial com a técnica de Sistemas multiagente, de forma a obter um sistema dinâmico e bastante similar a realidade dos sistemas ambientais. O GEE integra as tecnologias presentes em sistemas de informação geográficas, tornando-a interessante para o desenvolvimento de aplicações voltadas para os recursos naturais, e os sistemas multiagente buscam integrar aspectos comportamentais/humanos aos sistemas computacionais. O estudo de caso desta pesquisa foi aplicado no gerenciamento de recursos hídricos da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. Os dados disponibilizados são uma ferramenta de suporte ao Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas, que pode entender e analisar esta região de forma mais completa.

Palavras-chave: recursos naturais; recursos hídricos; uso do solo; ferramentas computacionais.

Water and soil viewer: a support tool to the management of natural resources

ABSTRACT: Researchers linked water resources and services directly to economic growth and environmental sustainability. In this way, it is essential to store, analyze and understand the water's physical processes. This work aims to identify and validate how the platform Google Earth Engine (GEE) can assist in the analysis of data in water resources, as well as perform the initial integration with the technique of Multi-agent Systems, in order to obtain a dynamic system and quite similar to the reality of environmental systems. GEE integrates the technologies present in geographic information systems, making it interesting to develop applications aimed at natural resources and multi-agent systems aim to integrate behavioral/human aspects into computer systems. We applied the case study of this research to manage water resources of the hydrographic basin of Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo. The data available is a tool to support the Hydrographic Basin Management Committee, which can understand and analyze this region in a more complete way.

Keywords: natural resources; hydric resources; land use; computational tools.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são substâncias presentes na natureza (água, energia solar, vento, entre outros) que são necessários à humanidade tanto para cultivo, quanto para a vida em sociedade em relação ao processo de desenvolvimento da civilização e para sobrevivência e conforto dos indivíduos (CARR et al., 2012). Devido a isso, a gestão dos recursos hídricos ganhou impulso crescente nas últimas décadas, pois visa melhorar a forma como os elementos naturais são gerenciados (DARBY, 2010). No que se refere ao recurso hídrico, o Brasil possui extensas bacias hidrográficas que apontam incontáveis conflitos relacionados à distribuição, gestão e compartilhamento da água (BORN et al., 2019). Em uma bacia, o recurso hídrico é um componente natural principal e renovável, sendo seu gerenciamento relacionado à procura por possíveis soluções para os desafios enfrentados pelos gestores e usuários de um ecossistema específico (ADAMATTI et al., 2005).

Tamaio et al. (2021) destacam que a escassez hídrica ocorre, principalmente, por causa das desigualdades sociais, as quais são responsáveis pelo uso, alocação e conservação da água de forma desigual. Neste sentido, estudos como Jacobi; Francalanza (2005), Feitosa et al. (2021) e Feitosa et al. (2021) preocupam-se em representar o processo de negociação de conflito na gestão participativa do uso da água, estes trabalhos auxiliam na compreensão do problema e no desenvolvimento de boas práticas para a educação ambiental. Devido a isso, é necessária a análise dos dados referentes aos recursos hídricos tanto sobre os níveis de rios, lagos, barragens, entre outros como das alterações pluviométricas. Neste sentido, previamente ao sensoriamento remoto, a verificação topográfica era a única forma de aferição de dados. No entanto, esse procedimento era demorado, caro e algumas vezes os resultados não eram precisos (JACOBI; FRANCALANZA, 2005).

De acordo com Dang et al. (2018), o sensoriamento remoto fornece um procedimento temporal e espacial que permite o rastreamento de um registro histórico, o qual é útil para monitoramento das informações da água em áreas que não possuem um programa de monitoramento em terra. O sensoriamento remoto pode ser utilizado desta forma para auxiliar na análise e no gerenciamento da qualidade da água, risco de inundação e identificação de danos, bem como alterações nos recursos hídricos superficiais (DANG et al., 2018). Além disso, o sensoriamento remoto oferece uma plataforma conveniente para monitoramento das alterações espaço-temporais dos recursos hídricos de superfície aberta, por meio da utilização de uma variedade de fontes de dados, como imagens de espectrômetro com resolução moderada (MODIS - do inglês, *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (NGUYEN et al., 2019), imagens Landsat (NGUYEN et al., 2019) ou de Sentinel (NGUYEN et al., 2019). Porém, em Wang et al. (2018), o qual é um estudo relacionado a corpos d'água de superfície aberta foi utilizado menos imagens durante um período específico para uma região de grande escala, pois, segundo o autor, é difícil processar grandes quantidades de imagens de sensoriamento remoto (WANG et al. 2018).

A plataforma baseada em nuvem chamada *Google Earth Engine* (GEE) foi desenvolvida para auxiliar a análise de dados geoespaciais de sensoriamento remoto em larga escala (Mutanga; Kumar, 2019). Neste sentido, o GEE tem sido empregado em sistemas com dados em larga escala, tanto para o mapeamento de terrenos urbanos quanto em corpos d'água de superfície aberta (Mutanga; Kumar, 2019).

Os Sistemas Multiagente são uma técnica de inteligência artificial que busca replicar comportamentos humanos em máquinas, como aspectos cognitivos, comportamentais ou emocionais. Sua utilização na área de recursos naturais vem crescendo, visto que além de simular aspectos físicos do ambiente, as pesquisas têm interesse em simular os aspectos sociais que esses ambientes sofrem no decorrer do tempo. Exemplos de aplicações de SMA em recursos naturais são

(LE PAGE et al., 2015; LE PAGE et al., 2017; PERROTTON et al, 2017).

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta no Google Earth Engine (GEE) para análise do uso do solo e dos recursos hídricos na região da bacia no estado do Rio Grande do Sul, bem como a integração do uso da técnica de SMA em conjunto ao GEE, mostrando sua aplicabilidade. Desta forma, além de acessar e tratar dados georreferenciados, também pode-se incluir aspectos comportamentais humanos ao sistema proposto. Neste trabalho será apresentado um estudo de caso no qual foi avaliada a disponibilidade de dados e informações disponibilizada pela GEE.

O artigo está organizado com a seguinte distribuição: a Seção 2 apresenta a plataforma GEE; na Seção 3 é apresentado o escopo do projeto onde é aplicado o estudo de caso; a Seção 4 descreve a ferramenta proposta no GEE, voltado para recursos hídricos, sendo que nessa seção (4), são descritos os resultados e as discussões. Por fim, na seção 5 são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. *Google Earth Engine*

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma que foi desenvolvida em 2010 pela Google para processamento de dados geoespaciais de forma leve e fundamentada em nuvem. O GEE permite o acesso a um elevado conjunto de dados regionais, globais e espaciais que permite o acesso e análise eficiente de fontes com grandes volumes de dados (petabytes) geoespaciais (como imagens de sensoriamento remoto Landsat e MODIS, entre outros). Estes dados são armazenados e acessados a partir de servidores do Google e podem ser utilizados em um período de tempo menor e em computadores que não tem um grande processamento (GORELICK et al., 2017). A interface do GEE pode ser visualizada na Figura 1.



Figura 1. Plataforma GEE. Fonte: Os autores.

Figure 1. GEE platform. Source: The authors.

Comparado com outras plataformas de nuvem como *Amazon Web Services* (AWS, lançado em 2006) e *Microsoft Azure* (lançado em 2010), o GEE suporta diferentes tipos de dados geoespaciais (como, Sentinel e dados Landsat iniciais)

e fornece serviços gratuitos para todos os usuários, o que é especialmente importante em países menos desenvolvidos (ZHAO et al., 2021). Além disso, no GEE é empregado um sistema de processamento paralelo para fazer a computação

em um número elevado de máquinas. Para habilitar esse processamento, o GEE utiliza as técnicas que são utilizadas em linguagens funcionais, como transparência referencial e avaliação lenta, para que seja possível obter proveitos significativos relacionados a otimização e eficiência (GORELICK et al., 2017).

Segundo Zhao et al. (2021), a GEE é atualmente a plataforma de computação em nuvem mais popular na ciência do sistema terrestre e foi amplamente utilizada para processamento de dados relacionados a uma variedade de áreas como mudanças ambientais, incluindo agricultura (XIONG et al., 2017), água (KANDEKAR et al., 2021), cobertura/uso da terra (ZURQANI et al., 2018), desastres (DEVRIES et al., 2020), mudança climática (HAO et al., 2019), solo (PADARIAN et al., 2015), pântano (ALONSO et al., 2016), floresta (BULLOCK et al., 2020) e urbanização (GOLDBLATT et al., 2018), entre outras (TAMIMINIA et al., 2020). O GEE fornece aos usuários dados de observação da Terra para download público na escala de petabytes, algoritmos avançados para analisar big data geográfico e um ambiente de programação interativo. O GEE também hospeda longas séries temporais de registros de observação da Terra e desempenha um papel vital no monitoramento e análise ambiental (AMANI et al., 2020).

A disponibilidade de grandes volumes de imagens da série Landsat de forma gratuita, juntamente com os avanços nos métodos de processamento de imagem e capacidade computacional possibilitaram, em 2008, que fosse armazenado pelo Google todos esses dados e os vinculasse ao mecanismo de computação em nuvem, permitindo assim, o uso em código aberto destas imagens (GORELICK et al., 2017). As bases de dados do Google incluem elementos de outros satélites, bem como conjuntos de dados vetoriais com informações geográficas (GIS - *Geographic Information System*), modelos climáticos, demográficos, de elevação e sociais (GORELICK et al., 2017). Existem várias maneiras de interagir com a plataforma GEE.

Para a implementação de aplicações no GEE é utilizada a linguagem de programação JavaScript. O GEE é constituído pelos seguintes módulos (GORELICK et al., 2017; Kumar; Mutanga, 2019): *i*) Code Editor, IDE para escrever e executar scripts; *ii*) Explorer, aplicativo para explorar os dados do GEE e executar análises triviais; e, *iii*) bibliotecas cliente em JavaScript, funcionalidades para auxiliar os usuários no desenvolvimento de seus protótipos. Além disso, o GEE tem um front-end acessível, que fornece um ambiente adequado para o desenvolvimento interativo de sistemas computacionais. Os pesquisadores podem acrescentar e selecionar dados particulares de sua pesquisa, bem como coleções de imagens, por meio do uso dos recursos em nuvem do Google, o qual realiza todo o processamento (GORELICK et al., 2017).

O *Google Earth Engine* possibilita aos pesquisadores tanto os ligados a instituições de ensino quanto os independentes a investigar a imensa base de dados geospaciais contida na plataforma para realizar ações como detecção de mudanças, mapeamento de tendências e quantificação de recursos na superfície da Terra. O GEE não precisa de máquinas com grande poder computacional ou de software complexos, o que possibilita aos indivíduos com poucos recursos financeiros terem a oportunidade de realizar suas análises, assim como cientistas que têm grandes financiamentos (KUMAR; MUTANGA, 2019).

Sidhu et al. (2018) avaliaram as manipulações de varredura e vetor em imagens do Landsat, espectrômetro de imagens com resolução moderada e imagens GlobCover na plataforma de sensoriamento remoto GEE. Em seu estado atual, o GEE provou ser uma ferramenta poderosa, fornecendo acesso a uma ampla variedade de imagens em um sistema consolidado. Os autores analisaram, como caso de uso, o uso e a cobertura da terra de Cingapura no GEE.

Kandekar et al. (2021) analisaram as imagens da série Sentinel-2 de um período de cinco anos (2015 à 2019) da barragem Jayakwadi por meio da plataforma GEE. O objetivo deste trabalho é calcular a faixa de distribuição de água da barragem de Jayakwadi, sendo que a área dos corpos d'água dessa represa no rio Godavari na vila Jayakwadi do distrito de Paithan taluka de Aurangabad, no estado indiano de Maharashtra, foi obtida a partir do método de índice de corpo d'água comum chamado NDWI.

Hao et al (2019) investigaram os fatores climáticos afetados pelo LULCC (*Land use and land cover change*) incluindo temperatura do ar, precipitação e evapotranspiração com base nos dados do *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), bem como a cobertura vegetal e LST (*Land Surface Temperature*) no período de 2000 a 2015. Os autores acreditam que o estudo pode fornecer sugestões oportunas para a proteção ambiental e para o desenvolvimento sustentável do TGRC (*Three Gorges Reservoir Catchment*).

Tamiminia et al. (2020) fizeram uma revisão sistemática sobre o GEE com foco em vários recursos, incluindo dados, tipo de sensor, área de estudo, resolução espacial, aplicação, estratégia e métodos analíticos. Um total de 349 artigos foram publicados em 146 periódicos diferentes entre 2010 e outubro de 2019. As publicações e tendências de distribuição geográfica mostraram um amplo espectro de aplicações em análises ambientais em escalas regional e global. Conjuntos de dados de sensoriamento remoto foram usados em 90% dos estudos, enquanto 10% dos artigos utilizaram produtos prontos para uso para análises. Além disso, imagens ópticas de satélite com resolução espacial média, particularmente dados Landsat com um arquivo superior a 40 anos, têm sido amplamente utilizadas.

Tsai et al. (2018) desenvolveram técnicas de classificação de imagens de satélite que possam mapear a cobertura florestal e o uso da terra, minimizando os problemas de nuvem e fornecendo a base para o monitoramento a longo prazo da Reserva Natural Nacional de Fanjingshan. Os resultados da avaliação de precisão indicam que uma classificação geral consistente e eficaz pode ser alcançada por meio de SVI multitemporais com normalização da iluminação simples e dados auxiliares de elevação, apesar dos dados limitados de treinamento.

Assim, acredita-se que o GEE é uma plataforma que pode auxiliar na análise em larga escala de dados georreferenciados relacionados aos recursos hídricos, os quais são o foco deste trabalho.

2.2. Sistemas Multiagente - SMA

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

Os modelos biológicos, assim como as interações sociais, servem de inspiração para o desenvolvimento de sistemas onde agentes inteligentes podem ser concebidos por meio de dispositivos de hardware e/ou software (ARTERO, 2009).

Os agentes representados por estes equipamentos ou programas devem ter a capacidade de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre este por meio de atuadores (RUSSELL; NORVIG, 2013).

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

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Escopo do Projeto

O estudo proposto neste trabalho faz parte do projeto “Gestão participativa dos recursos hídricos utilizando jogos computacionais e sistemas multiagente”¹ que pode ser observado na Figura 2.

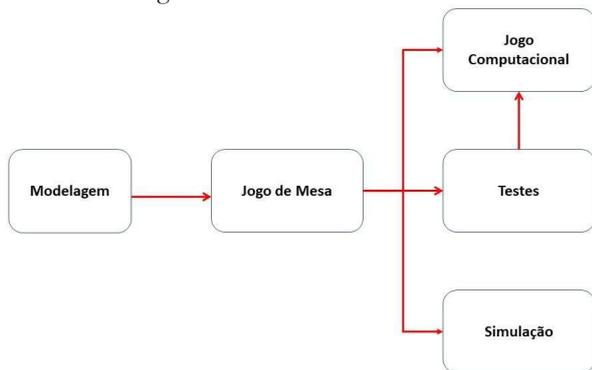


Figura 2. Visão geral do projeto. Adaptado de Melo et al. (2020).
Figure 2. Project overview. Adapted from Melo et al. (2020).

O projeto tem como objetivo a aplicação conjunta da Simulação Baseada em Multiagente (MABS) e dos Jogos de Papéis (RPGs) na gestão participativa dos recursos hídricos, conforme pode ser observado na Figura 2. Em especial, é utilizada a base de dados do estado do Rio Grande do Sul com foco na aplicação-piloto do trabalho no Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que contornam as cidades de Rio Grande e Pelotas, entre outras. O projeto está dividido em três etapas: jogo de mesa, jogo computacional e simulação baseada em agentes.

Durante a fase da modelagem foram feitas a definição e formalização das ações e interações dos papéis para o desenvolvimento das regras e do motor do jogo. Sendo que o motor do jogo foi desenvolvido na linguagem de programação Java por dois integrantes do projeto e serve para computar as ações escolhidas pelos jogadores do RPG ao final de cada rodada. O trabalho de Martins; Adamatti (2020) apresenta o detalhamento da modelagem dos papéis e regras do jogo, bem como sua implementação. O jogo de mesa serviu para embasar e calibrar as ações do jogo, de forma a verificar as tomadas de decisão dos jogadores. No site do projeto, este jogo de mesa pode ser acessado e utilizado (cartões e regras).

Por fim, a pesquisa proposta neste artigo visa contribuir com o projeto ao identificar e avaliar como o GEE pode auxiliar na análise de dados de recursos hídricos. Devido ao fato do GEE integrar as tecnologias presentes em sistemas de informação geográficas, este trabalho tem como objetivo

desenvolver uma aplicação voltada para os recursos naturais, por meio da integração do SMA com o GEE, mostrando sua aplicabilidade.

3.2. Descrição das Funcionalidades da Aplicação

Com o alto poder de processamento necessário para o tratamento de dados geoespaciais, os recursos fornecidos pelo GEE para trabalhar com esse tipo de dado são uma grande ferramenta capaz de auxiliar no estudo e processamento de tais dados. Possibilitando também, meios para a criação de aplicações em sua plataforma, capazes de utilizar todos seus recursos para o tratamento de dados em contextos específicos.

O Visualizador de Água e Solo contém recursos disponíveis para análise de cobertura e uso do solo e da precipitação no estado do Rio Grande do Sul. Para a construção deste visualizador foram utilizados tanto dados nativos do GEE (que foram tratados ou obtidos diretamente de satélites, juntamente), quanto dados específicos ligados à região da Bacia Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo, sendo a região de foco deste trabalho.

O componente Uso do solo tem como principais funções a apresentação da cobertura e uso do solo no Rio Grande do Sul ou em sub-regiões do estado e a análise de cobertura ou uso do solo limitado por região em uma determinada escala de tempo. Na apresentação e na análise da cobertura e uso do solo são utilizados como limites geográficos, arquivos de localidades que compõem a região da Bacia da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo e o limite que demarca o estado do Rio Grande do Sul, os quais são fornecidos pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente -- SEMA. Os limites geográficos utilizados neste trabalho são: i) área urbana na região da bacia; ii) áreas de conservação ambiental na bacia; iii) área total da bacia; iv) área territorial da bacia no Brasil (região que exclui todos os corpos d'água); v) cidades na região da bacia tanto no Brasil quanto no Uruguai; vi) corpos d'água da bacia (rios, lagos e lagoas ligados a bacia); vii) capacidade do uso do solo na bacia; ix) massa d'água externa à bacia (Lagoa dos Patos); x) rodovias que cruzam a bacia; xi) delimitação do estado do rio Grande do Sul; xii) massa d'água interna à bacia; xiii) escoamento dos Corpos d'água na bacia; xiv) perímetro ao redor das áreas de conservação ambiental.

O processamento dos dados que definem cada tipo de cobertura e uso do solo utiliza coleções fornecidas pelo Mapbiomas², que é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) para possibilitar a análise de diferentes biomas no Brasil. Para a demonstração da cobertura e uso do solo são utilizadas as imagens referentes aos dados de integração do ano de 2018, os quais são pertencentes a coleção 4.0 para o estado do Rio Grande do Sul. As imagens utilizadas para análise pertencem à mesma coleção, porém são referentes aos dados transição do período de 1985 a 2018. Onde são comparadas as imagens em um determinado intervalo de tempo, analisando a cobertura ou uso do solo em questão, gerando uma nova imagem que mostra a região que permaneceu sendo aquela cobertura ou uso do solo, a região que decaiu ou deixou de ser e a região que cresceu e passou a ser tal cobertura ou uso do solo. Sendo

¹ <http://gprh.c3.furg.br/>

² <https://mapbiomas.org/>

limitada geograficamente por um dos limites citados ou uma área circular definida por um raio em ponto do estado.

O componente Índice de chuva tem como principal função a análise da precipitação em uma determinada região, utilizando limites geográficos do estado do Rio Grande do Sul. Podendo ser feita através de dados de satélite ou das bases de dados de estações pluviométricas do estado do Rio Grande do Sul. Para indicar um índice de chuvas através de satélites, são utilizados satélites da Missão de Medição de Chuva Tropical (TRMM), uma missão conjunta entre a NASA e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA), projetada para monitorar e estudar as chuvas tropicais. Tais dados pertencem a classe 3B42 que tem seus dados coletados a cada três horas no formato milímetros/hora e a classe 3B43V7 que compõe seus dados através de estimativas de dados de outros satélites incluindo a classe 3B42

A análise de dados das bases das estações pluviométricas utiliza dados de estações dentro e fora da Bacia Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo, os quais são fornecidos pela Agência Nacional das Águas (ANA) e pelo governo Uruguaio. As estações se encontram por todo o estado e em algumas cidades do Uruguai, seus dados são divididos em brutos e consistidos, dados que passaram por algum método de classificação, mas contém lacunas nos dados coletados e brutos consistidos e preenchidos, dados com todas as lacunas preenchidas através de métodos matemáticos e análise de estações próximas.

Os dados do tipo brutos e consistidos tem um intervalo particular para cada estação, já os brutos consistidos e preenchidos têm o intervalo padrão de 2001 à 2019, sendo o período definido por convenção.

3.3. Integração com Sistemas Multiagente

O projeto sofreu um aprimoramento ao ser desenvolvida no GEE uma modelagem inicial do problema do fluxo d'água nas regiões próximas a Bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo por meio de sistemas multiagente. Na Figura 3 pode-se observar no GEE as doze regiões da bacia, que foram obtidas a partir da base de dados da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul, no âmbito do Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem as cidades de Rio Grande e Pelotas/RS.

O modelo foi desenvolvido na plataforma GEE a partir da biblioteca js-Simulator (Jssim), no qual os agentes são eventos que podem ser programados para serem executados em um determinado período. O simulador de eventos discretos é gerenciado no Jssim por meio da classe Scheduler que programa e dispara eventos com base em sua especificação de tempo e classificação, ou seja, de acordo com ordem do evento.

A lógica principal de um evento é definida em seu método de atualização (*deltaTime*), ou seja, os eventos com classificação maior. Eventos com prioridade alta e tempo de disparo precedente serão executados primeiro pelo Scheduler. Um evento também pode ser planejado para disparar em um momento posterior a partir do horário atual. Os eventos com a mesma classificação serão embaralhados antes da execução. Desta forma, é possível criar uma estrutura de raciocínio para cada uma das sub-bacias, com fluxos diferentes (demandas) e, também, ordem e tempos de execução diversos.

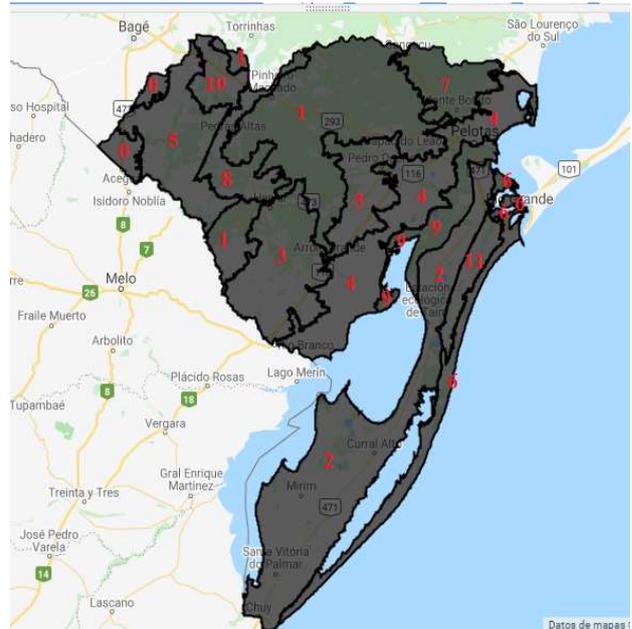


Figura 3. Regiões ao redor da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo.

Figure 3. Regions around the watershed of Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo.

4. RESULTADOS

Nessa seção são ilustrados os recursos da aplicação, a fim de apresentar e detalhar sobre seu funcionamento. A partir dos resultados obtidos no estudo desenvolvido em Born et al. (2020), foi definida a escolha da plataforma GEE para o desenvolvimento da ferramenta Visualizador de Água e Solo (VAS). A pesquisa desenvolvida neste trabalho é uma continuidade do que foi desenvolvido em Mota et al. (2020). As métricas para análise e escolha da plataforma GEE foram anteriormente detalhadas em Born et al. (2020).

No menu inicial há um painel com dois botões relacionado aos componentes Uso do Solo e Índice de chuva, juntamente com uma visualização da cobertura e uso do solo limitada pelo estado do Rio Grande do Sul, conforme pode ser observado na Figura 4.

No componente Uso do solo (Figura 5) é possível modificar a região que limita a visualização através do menu selecionar Limites geográficos - Região bacia Mirim/SG e visualizar as classes de cobertura e uso do solo da forma que for mais conveniente para o usuário do sistema, através das caixas que definem quais classes estão sendo observadas no momento.

É possível também analisar um tipo de cobertura ou uso do solo de duas maneiras: raio de consulta e área definida. Ambas necessitam que seja fornecido, além do tipo de dado, o intervalo de tempo em questão. O resultado apresentado é o decaimento, a permanência e o crescimento do tipo de cobertura ou uso do solo escolhido. O raio de consulta (Figura 6) é obtido por meio do tamanho do raio (em quilômetros) e de uma coordenada a qual centralizará esse raio, ambos fornecidos pelo usuário. O tamanho do raio é fornecido através de uma caixa de texto e a coordenada fornecida através de um clique feito sobre o mapa. A área definida se refere aos limites geográficos citados ao longo do trabalho, a qual é selecionada por um outro menu seleciona Limites geográficos - Região bacia Mirim/SG e segue o mesmo padrão de mostragem do método anterior.

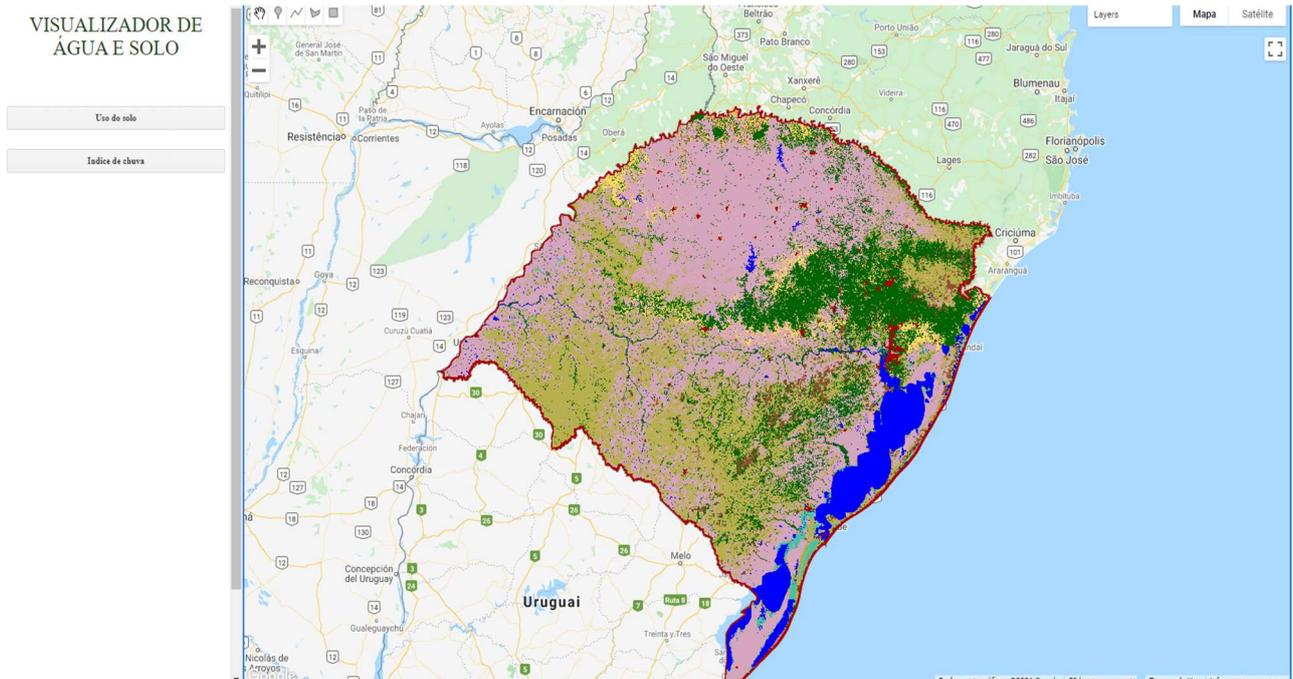


Figura 4. Tela Inicial. Fonte: Os autores.
 Figure 4. Home screen. Source: The Authors.

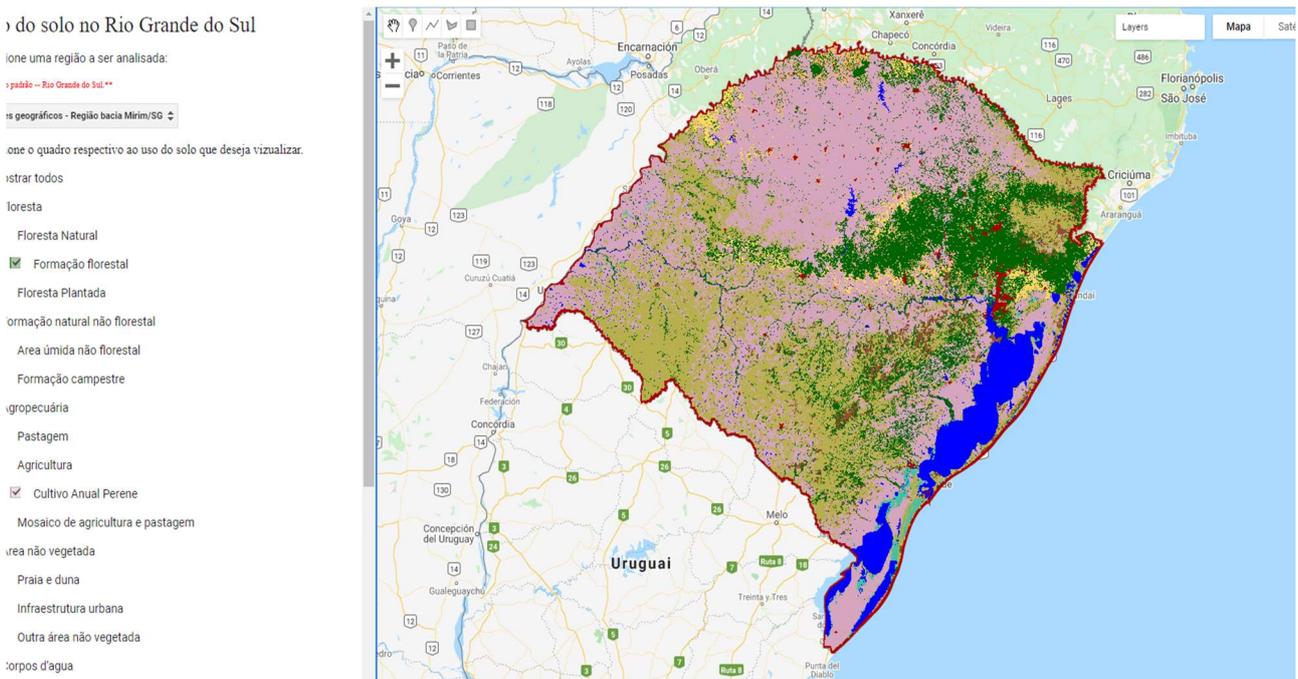


Figura 5. Uso do solo. Fonte: Os autores.
 Figure 5. Land use. Source: The Authors.

No componente Índice de chuva (Figura 7) é possível fazer a análise da precipitação de três formas, onde duas das análises utilizam dados de satélite e a terceira os dados de precipitação das estações pluviométricas. A primeira e segunda forma compartilham dos mesmos métodos para delimitar uma região utilizada na análise de cobertura e uso do solo.

As análises são feitas através de um raio de consulta ou de uma área definida (Figura 8), ambas necessitando de um período de tempo, o qual é definido por padrão no mês de dezembro de 2019, tendo como resultado o gráfico de representação da precipitação nas condições definidas.

A terceira análise utiliza a localização das estações pluviométricas, representadas por uma circunferência de cinquenta quilômetros de raio, que define a região de validade de seus dados. Além disso, é possível analisar os dados de até três estações de uma única vez. Por fim, pode-se apresentar um gráfico de representação da precipitação nas condições definidas para cada uma das estações, conforme pode ser observado na Figura 9.

Em todas as análises é possível para o usuário a expansão dos gráficos, para que se obtenha uma melhor análise dos dados. Também sendo disponibilizados para download nos formatos CSV, SVG e PNG.

Já na modelagem do fluxo de água, podemos observar na Figura 10, o modelo multiagente implementado na plataforma GEE. Neste modelo, cada região representa um agente que pode enviar água para os vizinhos próximos. A Tabela 1 demonstra a direção que o fluxo d'água pode seguir de um agente em direção ao outro. As colunas representam os agentes e cada linha descreve com quais regiões cada agente pode se comunicar. Os agentes enviam uma mensagem avisando a quantidade de água que receberam e a

quantia que estão enviando para os vizinhos. Neste trabalho consideramos que um agente envia 90% da água que recebe para os outros agentes e mantém 10% em sua região.

Na Figura 11 podemos observar a troca de mensagens entre as regiões da Bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo sobre a quantidade de água que receberam e quanto de água estão enviando e para qual região. O fluxo de água entre essas regiões foi desenvolvido a partir da Tabela 1.

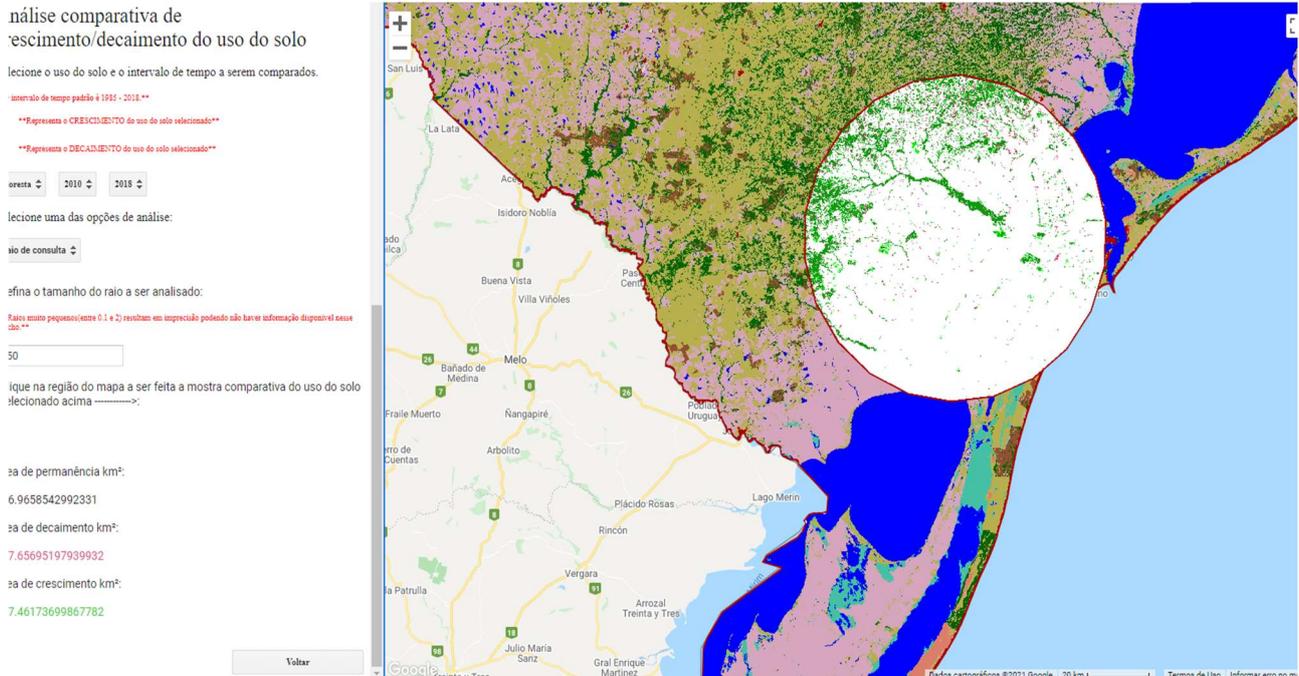


Figura 6. Uso do solo - Análise por raio de consulta. Fonte: Os autores.

Figure 6. Land use - Analysis by query radius. Source: The Authors.

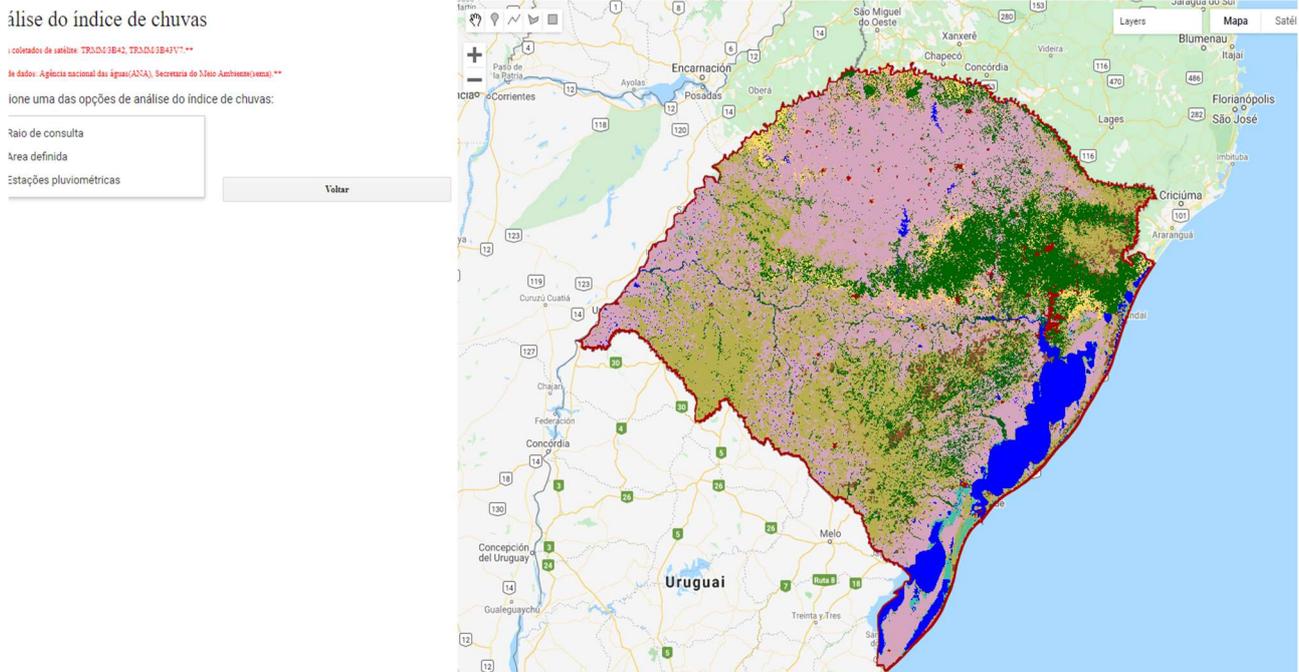


Figura 7. Índice de chuva. Fonte: Os autores.

Figure 7. Rain index. Source: The Authors.

Tabela 1. Matriz de fluxo da água entre as regiões.
Table 1. Water flow matrix between regions.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
R1	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0,3	0
R3	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0,5
R4	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0,5
R6	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
R7	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
R8	0,4	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
R9	0	0,4	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R11	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0,5	0	0	0
R12	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0

Análise do índice de chuvas

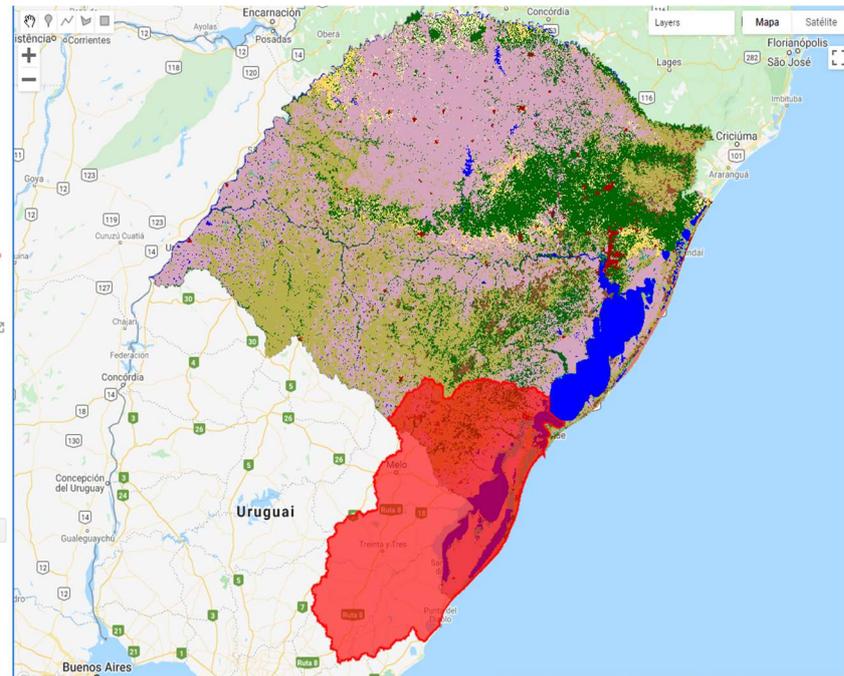


Figura 8. Índice de chuva - Análise por área definida. Fonte: Os autores.
Figure 8. Rainfall index - analysis by defined area. Source: The Authors.

5. DISCUSSÕES

A partir deste estudo e da análise dos resultados acredita-se, que o GEE é uma plataforma que pode facilitar a análise em larga escala de dados georreferenciados relacionados aos recursos hídricos, os quais desempenham um papel crucial no crescimento econômico e na sustentabilidade ambiental.

Além disso, a modelagem do fluxo de água avaliar o fluxo de água em diferentes regiões bem como o impacto dos rios e lagos ao longo da bacia, permitindo a análise da direção que a água pode seguir e sua influência nas demais regiões. Também é possível analisar quais regiões podem se comunicar, permitindo a avaliação da quantia de água que receberam e a quantia que estão enviando para os vizinhos.

6. CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

A plataforma GEE se mostrou robusta para o tratamento de diferentes tipos de dados em uma mesma aplicação, possibilitando a adaptabilidade para mesclar informações de outras fontes de dados juntamente com seus dados de satélite. Não havendo nenhum tipo de interferência direta no

processamento dos dados que se encontraram em tal situação. Em contraponto, ocorreram algumas restrições para alimentar a plataforma com simples tabelas de dados, dos quais continham um formato conhecido e aceito pelo GEE. Contudo ocorreram complicações na maneira como os recursos disponíveis para tratar tais dados o reconhecessem, já que simples tabelas e utilizam os mesmos recursos fornecidos para o tratamento de features, dados com estruturas mais complexas.

O processamento da plataforma é dividido em cliente e servidor, consistindo na execução e processamento dos algoritmos diretamente na aplicação e fazendo requisições a processamentos feitos no servidor. Nessa aplicação foi explorado em sua grande maioria o processamento feito na parte do cliente, o qual se demonstrou completamente viável para a maior parte das análises e comparações de dados feitas em tempo real na aplicação. Porém para processar e filtrar imagens com grande quantidade de pixels, como é feito na análise de cobertura e uso do solo, utilizando apenas o processamento feito no lado do cliente, se mostrou com

certas dificuldades para manter o desempenho da aplicação em determinadas densidades e extensões de pixels tratados em uma única imagem.

A integração, mesmo que inicial, com SMA, mostra que é viável a utilização do GEE com outras tecnologias, de forma a ter-se sistemas dinâmicos e que podem replicar as realidades encontradas no ambiente. Desta forma, integrar aspectos comportamentais humanos é uma possibilidade e pode tornar os sistemas mais próximos a realidade das regiões a serem analisadas. É importante salientar que os avanços científicos desta pesquisa não estão restritos ao desenvolvimento a ferramenta proposta. Esta ferramenta é um meio de validar os preceitos teóricos da pesquisa, que envolvem a inclusão de diversos tipos de dados ambientais e o desenvolvimento de agentes que possam realizar a tomada de decisão baseada em comportamentos próximos aos dos

stakeholder das regiões de pesquisa. No estudo de caso proposto, acredita-se que com os experimentos, avanços neste sentido foram realizados.

Como trabalhos futuros pretende-se incluir dados de estações meteorológicas pertencentes ao estado do Rio Grande do Sul, disponibilizando análises de diferentes tipos de dados como temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, temperatura máxima e mínima, temperatura máxima e mínima do ponto de orvalho e umidade relativa máxima e mínima do ar. Também vislumbra-se tornar os agentes mais “inteligentes”, ou seja, incorporar mais comportamentos racionais para tomada de decisão, de forma a ter-se simulações mais próximas a realidade.

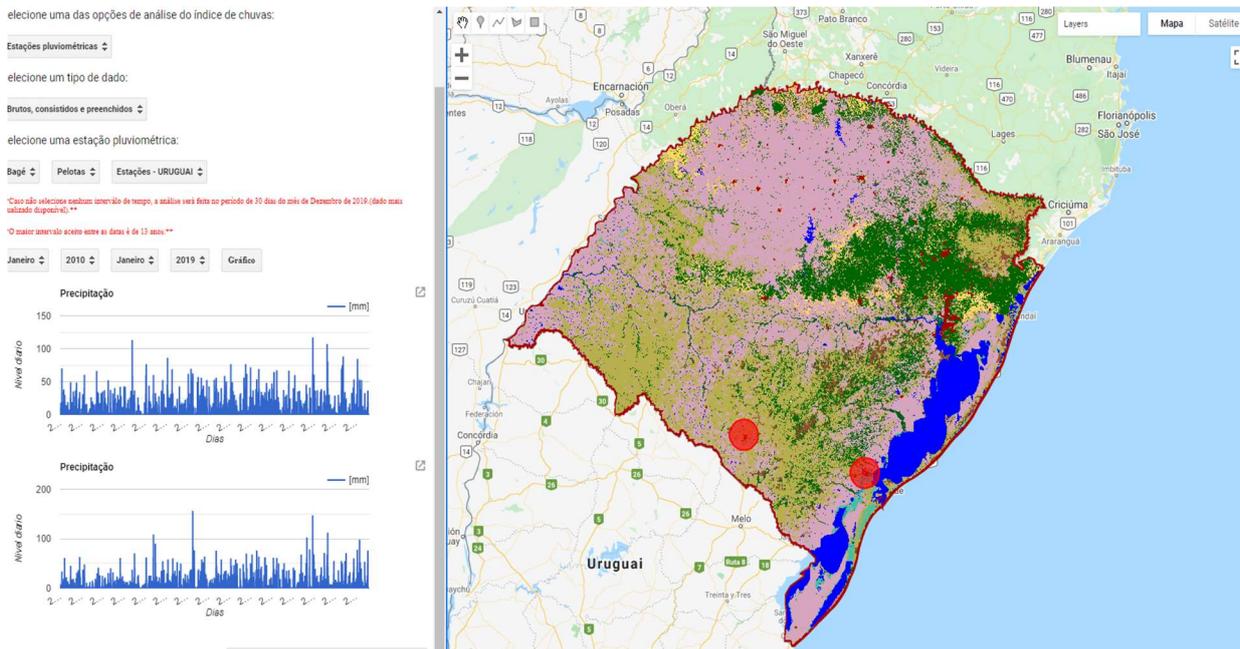


Figura 9. Índice de chuva - Análise dos dados de estações pluviométricas. Fonte: Os autores.
 Figure 9. Analysis of data from rainfall stations. Source: The Authors.

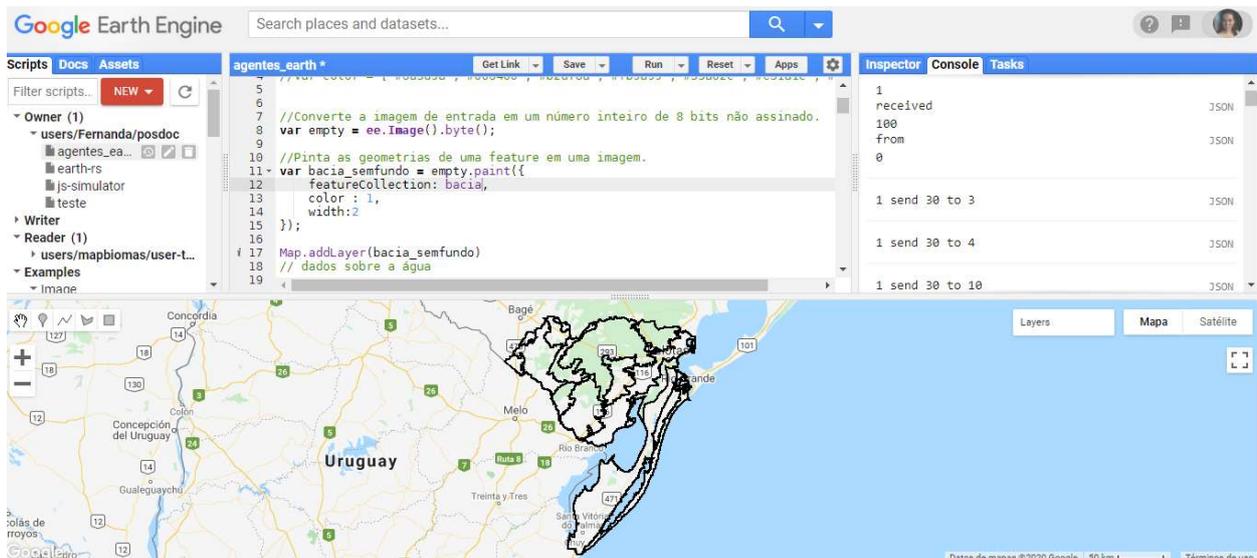


Figura 10. Modelo multiagente implementado na plataforma GEE. Fonte: Os autores.
 Figure 10. Multiagent model implemented on the GEE Platform. Source: The Authors.



Figura 11. Troca de mensagens entre as regiões da Bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo.

Figure 11. Exchange of messages between the regions of the Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo hydrographic basins.

6. REFERÊNCIAS

- ADAMATTI, D. F.; SICHMAN, J. S.; BOMMEL, P.; DUCROT, R.; RABAK, C.; CAMARGO, M. (2005). Jogoman: A prototype using multi-agent-based simulation and role-playing games in water management. In: SMAGET-CABM-HEMA, 2005. **Proceedings...** 18p. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.60.8928&rep=rep1&type=pdf>
- ALONSO, A.; MUÑOZ-CARPENA, R.; KENNEDY, R. E.; MURCIA, C. Wetland landscape spatio-temporal degradation dynamics using the new Google Earth Engine cloud-based platform: opportunities for non-specialists in remote sensing. **Transactions of the ASABE**, v. 59, n. 5, p. 1331-1342, 2016. DOI: 10.13031/trans.59.11608
- AMANI, M.; GHORBANIAN, A.; AHMADI, S. A.; KAKOOEI, M.; MOGHIMI, A.; MIRMAZLOUMI, S. M.; MOGHADDAM, S. H. A.; MAHDAVI, S.; GHAHREMANLOO, M.; PARSIAN, S.; WU, Q.; BRISCO, B. Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 13, p. 5326-5350, 2020. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.3021052.
- ARTERO, A. O. **Inteligência Artificial: Teoria e Prática**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009. 230p.
- BORN, M.; LEITZKE, B. S.; FARIAS, G.; AGUIAR, M.; ADAMATTI, D. F. Modelagem baseada em agentes para análise de recursos hídricos. In: Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações (WESAAC), XIII, 2019. **Anais...** Florianópolis/SC, p. 107-118. Disponível em: <http://wesaac.c3.furg.br/storage/proceedings/D4bRkn9DoX2Wlrv9jNLopaVtGc4qGk9OkOBV0msJ.pdf>
- BORDINI, R. H.; VIEIRA, R.; MOREIRA, A. F. Fundamentos de sistemas multiagentes. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), XXI, 2001. **Anais...** Fortaleza/CE. v. 2, p. 3-41. Disponível em: www.sol.sbc.org.br.
- BORN, M.; MOTA, F. P.; FARIAS, G.; MATEUS, M. G.; LEITZKE, B.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Estudo comparativo em gama e google earth engine: possibilidades para a área de sistemas multiagente. In: Workshop de Computação Aplicada ao Meio Ambiente e aos Recursos Naturais (WCAMA), 2020.
- BULLOCK, E. L.; WOODCOCK, C. E.; OLOFSSON, P. Monitoring tropical forest degradation using spectral unmixing and Landsat time series analysis. **Remote sensing of Environment**, v. 238, e110968, 2020.
- CARR, G.; BLÖSCHL, G.; LOUCKS, D. P. Evaluating participation in water resource management: A review. **Water Resources Research**, v. 48, n. 11, W11401, 2012.
- DANG, T. D.; COCHRANE, T. A.; ARIAS, M. E. Quantifying suspended sediment dynamics in mega deltas using remote sensing data: a case study of the Mekong flood plains. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 68, p. 105-115, 2018.
- DARBY, S. Natural resource governance: New frontiers in transparency and accountability. **Transparency Accountability Initiative**. 2010. Disponível em: <https://www.transparency-initiative.org/blog/613/natural-resource-governance-new-frontiers-in-transparency-and-accountability/>
- DEVRIES, B.; HUANG, C.; ARMSTON, J.; HUANG, W.; JONES, J. W.; LANG, M. W. Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v. 240, p. 111664, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111664>
- FEITOSA, F. R.; SOUZA, R. B. B.; SOUZA, R. B.; ALMEIDA NETO, P. P. de. Uso racional dos recursos hídricos por meio da tecnologia da inovação no cerrado brasileiro. **Natural Resources**, v. 11, n. 3, p. 105-110, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2021.003.0012>
- FEITOSA, S. P. S.; LUCAS, A. A. T.; GOMES, L. J. Conflitos socioambientais na perspectiva do comitê da bacia hidrográfica do rio Japarutuba. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, e8410312932, 2021.
- GOLDBLATT, R.; STUHLMACHER, M. F.; TELLMAN, B.; CLINTON, N.; HANSON, G.; GEORGESCU, M.; WANG, C.; SERRANO-CANDELA, F.; KHANDELWAL, A. K.; CHENG, W.-H.; BALLING Jr, R. C. Using Landsat and nighttime lights for supervised pixel-based image classification of urban land cover. **Remote Sensing of Environment**, v. 205, p. 253-275, 2018. DOI: 10.1016/j.rse.2017.11.026

- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
- HAO, B.; MA, M.; LI, S.; LI, Q.; HAO, D.; HUANG, J.; GE, Z.; YANG, H.; HAN, X. Land use change and climate variation in the three gorges reservoir catchment from 2000 to 2015 based on the Google Earth Engine. **Sensors**, v. 19, n. 9, p. 2118, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19092118>
- JACOBI, P. R.; FRANCALANZA, A. P. Comitês de bacias hidrográficas no Brasil: desafios de fortalecimento da gestão compartilhada e participativa. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, n. 11-12, p. 41-49, 2005. DOI: 10.5380/dma.v11i0.7816
- KANDEKAR, V. U.; PANDE, C. B.; RAJESH, J.; ATRE, A. A.; GORANTHAR, S. D.; KADAM, S. A.; GAVIT, B. Surface water dynamics analysis based on sentinel imagery and Google Earth Engine Platform: a case study of Jayakwadi dam. **Sustainable Water Resources Management**, v. 7, n. 3, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00527-7>
- KUMAR, L.; MUTANGA, O. Google Earth Engine Applications. **Remoting Sensing**, v. 11, n. 5, p. 1-4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- LE PAGE, C.; DRAY, A.; GARCIA, C.; PEREZ, P. Exploring how knowledge and communication influence natural resources management with REHAB. **Simulation & Gaming**, v. 47, n. 2, p. 257-284, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/10468781166632900>
- LE PAGE, C.; BOBO, K. S.; KAMGAING, O. W. T.; NGAHANE, F. B.; WALTERT, M. Interactive simulations with a stylized scale model to codesign with villagers an agent-based model of bushmeat hunting in the periphery of Korup National Park (Cameroon). **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 18, n. 1, e08, 2015.
- MARTINS, V. B.; ADAMATTI, D. F. Natural Resources Management applied to Multiagent Systems and Role-Playing Games. In: International Conference on Distributed Computing and Artificial Intelligence, 17, 2020. **Proceedings...** L' Aquila/Italia. Disponível em: <https://researchr.org/publication/MartinsA20/authors>
- MELO, M., ADAMATTI, D. F. Mineração de Dados no Domínio de Gestão de Recursos Naturais: Descoberta de estratégias em um RPG. In: Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais, XI, **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2020. p. 21-30.
- MOTA, F. P.; MATEUS, M. G.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Google Earth Engine e sua aplicabilidade na gestão de recursos hídricos. In: Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais, XI, **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2020. p. 161-170.
- MUTANGA, O.; KUMAR, L. Google earth engine applications. **Remoting Sensing**, v. 11, n. 5, e591, p. 1-4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- NWANA, H. S. Software agents: An overview. **The knowledge engineering review**, v. 11, n. 3, p. 205-244, 1996.
- NGUYEN, U. N.; PHAM, L. T.; DANG, T. D. An automatic water detection approach using Zlandsat 8 oli and google earth engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 4, p. 235, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7355-x>
- PADARIAN, J.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Using Google's cloud-based platform for digital soil mapping. **Computers & geosciences**, v. 83, p. 80-88, 2015.
- PERROTTON, A.; de GARINE, W. M.; VALLS-FOX, H.; LE PAGE, C. My cattle and your park: Co-designing a role-playing game with rural communities to promote multi-stakeholder dialogue at the edge of protected areas. **Ecology and Society**, v. 22, n. 1, e35, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-08962-220135>
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. 3 ed. Rio de Janeiro/RJ: Elsevier Ltda, 2013
- SIDHU, N.; PEBESMA, E.; MARA, G. C. Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 486-500, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1451782>
- TAMAI, I.; DAS CHAGAS, G. C. A Educação Ambiental no contexto da escassez hídrica: o racionamento no Distrito Federal entre 2017 e 2018. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 409-427, 2021.
- TAMIMINIA, H.; SALEHI, B.; MAHDIANPARI, M.; QUACKENBUSCH, L.; ADELI, S.; BRISCO, B. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 164, p. 152-170, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- TSAI, Y. H.; STOW, D.; CHEN, H. L.; LEWISON, R.; AN, L.; SHI, L. Mapping vegetation and land use types in Fanjingshan National Nature Reserve using google earth engine. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, e927, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10060927>
- WANG, C.; JIA, M.; CHEN, N.; WANG, W. Long-term surface water dynamics analysis based on Landsat imagery and the google earth engine platform: A case study in the middle Yangtze river basin. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, e1635, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10101635>
- WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to Multi agent Systems**. University of Liverpool, UK: John Wiley & Sons Ltd., 2002. 488p.
- XIONG, J.; THENKABAIL, P. S.; GUMMA, M. K.; TELUGUNTLA, P.; POEHNELT, J.; CONGALTON, R. G.; YADAV, K.; THAU, D. Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 126, p. 225-244, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.019>
- ZHAO, Q.; YU, L.; KI, X.; PENG, D.; ZHANG, Y.; GONG, P. Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 13, n. 18, p. 3778, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13183778>
- ZURQANI, H. A.; POST, C. J.; MIKHAILOVA, E. A.; ACHLAUTMAN, M. A.; SHARP, J. L. Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 69, p. 175-185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.006>