

SISTEMA DE COMPARTILHAMENTO DE DADOS GEOESPACIAIS: SisGEO

GEOSPATIAL DATA SHARING SYSTEM: SisGEO

Sylvester Henrique Alvarenga

Bacharel em Ciência da Computação, Universidade Federal de Alfenas, Brasil

henrique.sylvester@gmail.com

Guilherme Souza Vieira

Bacharel em Ciência da Computação, Universidade Federal de Alfenas, Brasil

qu1lh3rmesv@gmail.com

Marcelo de Oliveira Latuf

Doutor em Geografia, Universidade Federal de Alfenas, Brasil

marcelo.latuf@unifal-mg.edu.br

Rodrigo Martins Pagliares

Doutor em Engenharia Eletrônica e Computação, Universidade Federal de Alfenas, Brasil

rodrigo.pagliares@unifal-mg.edu.br

Recebido: 09.10.2021

Aceito: 07.03.2022

Resumo

O compartilhamento de dados geoespaciais esbarrava, nas décadas passadas, na ineficiente ou até mesmo inexistente infraestrutura de tecnologia de informação. Com o desenvolvimento e a popularização de novos componentes de *hardware* e *software* em computadores pessoais, aliados ao investimento na infraestrutura de comunicações, o tráfego de dados obteve um expressivo incremento. Entretanto, diversos dados produzidos por instituições de governo, pesquisa e ensino são de difícil acesso à sociedade até os dias atuais e, com o foco na disponibilização destes, foi desenvolvido o Sistema de Compartilhamento de Dados Geoespaciais, que objetiva compartilhar dados geoespaciais produzidos pelo curso de Geografia da Universidade Federal de Alfenas. A plataforma foi desenvolvida a partir do código-fonte da plataforma TerraBrasilis, desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que gentilmente colaborou na transferência de tecnologia. As tecnologias utilizadas nesta plataforma são baseadas em *softwares* de código aberto e seguem as especificações do *Open Geospatial Consortium*. Passadas as fases de desenvolvimento e implantação, foi possível dar funcionalidade a um WebGIS com desempenho satisfatório, tornando público, de forma gratuita, dados geoespaciais que servirão à sociedade no suporte à tomada de decisões.

Palavras-chave: WebGIS; Dados geográficos; Software de código aberto; TerraBrasilis.

Abstract

For decades, the sharing of geospatial data has been bumping into inefficient or even non-existent information technology infrastructure. With the development and the popularization of new hardware and software components in personal computers, combined with the investment in communication infrastructure, data traffic has significantly increased. Although

several data produced by governmental, research and teaching institutions have been difficult to access by the society until the present day and, focusing on making them available, the Geospatial Data Sharing System was developed, which aims to share geospatial data produced by Geography course from the Federal University of Alfenas. The platform was developed starting from the TerraBrasilis platform source code, developed by the National Institute for Space Research, which kindly collaborated in the technology transfer. The technologies used in this platform are based on open-source software and follow the specifications of the Open Geospatial Consortium. After the development and the implementation phases, it was possible to provide the functionality to a WebGIS with a satisfactory performance by serving as many users as possible and making public and free of charge geospatial data that will be useful for the society to support the decision-making.

Keywords: WebGIS; Geographical data; Open-source software; TerraBrasilis.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilização de dados geoespaciais gratuitos ao público é uma importante tarefa, pois pode tanto subsidiar ações de planejamento e gestão do território, sob diversos recortes espaciais, como também fomentar a geração de informações e ganho de conhecimento em áreas geográficas de seu interesse.

Os *softwares* cuja finalidade está direcionada ao armazenamento, exibição, manipulação e análise de dados geoespaciais são comumente conhecidos por *Geographic Information System* (GIS) (BURROUGH; McDONNELL, 1998). Já os WebGIS (*Web Geographic Information Systems*) são ferramentas que exibem mapas interativos por meio de navegadores *web* amplamente utilizados na disseminação de dados geográficos, que, por sua vez, podem ser explorados e analisados por qualquer pessoa que tenha um computador com acesso à Internet (SOUZA *et al.*, 2005).

O *Xerox PARC Map Viewer* (DAVIS, 1995), conhecido como o primeiro *WebGIS* (*hoje descontinuado*), teve o intuito de disponibilizar mapas interativos e funcionalidades como *zoom*, permitindo ao usuário aproximar ou afastar a visualização, selecionar camadas a serem visualizadas, além de poder ser acessado por um navegador *web* sem a necessidade de instalação de *software* adicional, ao contrário de aplicações *desktop* (FUU; SUN, 2010).

O *Open Geospatial Consortium* (OGC) caracteriza-se por ser um consórcio constituído de agências governamentais, organizações de pesquisa e universidades com objetivo de padronizar informações geoespaciais, tornando-as interoperáveis, reutilizáveis e acessíveis (OGC, 2020). Dessa forma, para permitir maior interoperabilidade, ferramentas *open source* como *Open Street Maps* e *Leaflet* (AGAFONKIN, 2018) utilizam dos padrões internacionais estabelecidos pelo OGC, que indicam métodos de catalogação de metadados,

armazenamento e transferência de dados entre diferentes servidores e permitem uma disseminação de informações para diferentes usuários e instituições.

O *Open Street Maps* é um projeto que disponibiliza gratuitamente dados geoespaciais por meio de um mapa que permite a utilização e modificação de seus dados. Suas imagens geoespaciais podem ser baixadas e servidas para utilização em qualquer projeto (COAST, 2015). O projeto também contém um WebGIS em que seus dados são exibidos, nele é possível realizar operações como *zoom*, alteração do tema e exportar regiões do mapa.

No Brasil, o desenvolvimento de plataformas de disponibilização de dados geoespaciais tem se tornado frequente junto a órgãos de Estado nas mais diferentes esferas governamentais, tais como o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais (SEMAD), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) dentre outros.

A aplicação *i3Geo* (Interface Integrada para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento) é um sistema brasileiro, criado pelo MMA, sendo o precursor nacional na área de mapas interativos na *web*, que permite a disseminação de dados geoespaciais gratuitamente, baseando-se em tecnologias *open source* (I3GEO, 2011), sendo utilizada em diversos outros órgãos das esferas governamentais.

O TerraBrasilis é uma plataforma que se caracteriza por ser um *WebGIS* que permite a visualização e obtenção de dados geoespaciais de projetos ambientais desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio de ferramentas de *softwares* gratuitos. Essa plataforma de análise de dados espaciais utiliza conceitos de micro serviços e uma arquitetura de virtualização para ter melhor performance e simplicidade de implantação (ASSIS *et al.*, 2019).

Ademais, a plataforma possui a ferramenta de *software GeoNetwork*, que contém funções avançadas de edição e busca de metadados (TICHELER; HIELKEMA, 2007). Ela permite que um usuário que não tenha qualquer conhecimento específico tenha acesso aos metadados por um navegador de Internet. Outro módulo importante do TerraBrasilis é uma API (Interface de Programação de Aplicativos) construída para prover coleções de dados, seguindo o paradigma de Ciência de Dados, para que, posteriormente, os dados possam ser explorados em algoritmos de aprendizado de máquina.

Dados geoespaciais podem dar suporte à tomada de decisões de organizações públicas e privadas, bem como apoiar ações de planejamento e gestão de bacias

hidrográficas, por meio dos comitês e agências de bacias, conforme preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), além de subsidiar outras aplicações que demandem de dados georreferenciados.

Desta forma, o Grupo de Pesquisa em Geodinâmica de Bacias Hidrográficas (GeoHidro), integrante ao curso de Geografia da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), tem desenvolvido projetos no âmbito da bacia hidrográfica do rio Grande, mais especificamente no reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas e bacias afluentes, e em função da necessidade de disponibilizar dados geoespaciais produzidos pelos projetos à sociedade, iniciou cooperação técnica com o curso de Ciência da Computação da UNIFAL-MG, bem como com o INPE, por meio da Divisão de Processamento de Imagens (PDI).

Neste contexto, enquadra-se a proposta de customização de uma ferramenta *web*, a partir do código fonte da plataforma TerraBrasilis (ASSIS *et al.*, 2019), que fora denominada - Sistema de Compartilhamento de Dados Geoespaciais (SisGEO) - que se caracteriza por ser uma ferramenta de *software* que tem como objetivo armazenar, visualizar e disponibilizar dados geoespaciais na *web*, produzidos pelos membros do GeoHidro e demais parceiros.

2. ARQUITETURA DO SISGEO

2.1. Desenvolvimento

O SisGEO é resultado de adaptações e implementações de novas funcionalidades no código fonte do *webmap* advindas da plataforma TerraBrasilis (ASSIS *et al.*, 2019). Foram realizadas modificações na inclusão de novas funcionalidades no intuito de: (i) alterar o estilo visual do sítio eletrônico para as cores, textos e logo do SisGEO; (ii) remover alguns componentes não utilizados no SisGEO, como a legenda de cores das camadas e funcionalidade de desenhar polígonos em tela; e (iii) implementar melhorias na barra lateral da interface gráfica e estilo visual da barra de rolagem: estilo *slider* de transparência, precisão do *slider* de transparência para duas casas decimais depois da vírgula, fluidez geral na rolagem vertical e ao expandir grupos de camadas, chamados de *visions*.

Na mesma aplicação (*webmap*) desenvolveram-se novas interfaces gráficas do utilizador *Graphical User Interface* (GUI). Uma GUI inicial que apresenta o SisGEO e outras três GUIs, uma para cada projeto: “Mapeamento do lago de Furnas”, “Bacia Hidrográfica de Furnas” e “Topografia de Furnas”. Os protótipos das GUI dessas telas foram elaborados por meio da ferramenta *Figma* (WALLACE; FIELD, 2019).

Quanto aos metadados, no TerraBrasilis estes são exibidos pelo *GeoNetwork*. Assim,

o *webmap* do TerraBrasilis contém apenas as URLs para acessá-los. No caso do SisGEO, optou-se apenas pela exibição dos metadados, sem funções avançadas de edição e busca. Com isso não foi necessária a utilização do *GeoNetwork* e, ao invés disso, armazenam-se os dados no mesmo banco de dados das camadas. Em razão disso, foi necessária a alteração da estrutura do banco de dados e do módulo *business-api*, para suportar a nova estrutura de metadados, criando uma classe para representá-la no código.

Quando o usuário acessa o mapa do SisGEO, o *webmap* solicita ao módulo *business-api* a lista de camadas que serão exibidas no mapa e suas propriedades como: identificador da camada; nome; id, nome, descrição e prefixo da URL da camada no *GeoServer* que pertencem à entidade chamada de *datasource*; *tool*, que é a ferramenta disponível para uma camada como: metadados, *download*, transparência; URL para *download*. Algumas dessas propriedades são as mesmas entre camadas diferentes, com isso muitos dados enviados do *business-api* ao *webmap* são duplicados. No TerraBrasilis isso não tem grande impacto na quantidade de dados enviados, uma vez que ele exibe 31 camadas no mapa. Já no SisGEO, em que o mapa exibe inicialmente 148 camadas, os dados duplicados têm impacto significativo no tamanho dos dados enviados entre *webmap* e *business-api*.

A propriedade *datasource*, da estrutura de dados das camadas, representa um agrupamento de camadas do *Geoserver*, com isso camadas do mesmo agrupamento continham dados duplicados, fazendo com que dados desnecessários fossem enviados do *business-api* para o *webmap*. Como o quantitativo de camadas é relativamente expressivo, em relação às camadas do TerraBrasilis, com a perspectiva de aumento de camadas do SisGEO no futuro, identificou-se a necessidade de melhorar esse aspecto. Dessa forma, alterou-se a maneira com que esses dados são requisitados pelo *webmap*, retornados pelo *business-api* e tratados pelo *webmap*. Como pode ser visto na Tabela 1, os *datasources* agora são requisitados na função *buscarTodosDatasources*, enquanto as *visions* são requisitadas pela função *buscarTodasVisions*. Assim, os *datasources* são requisitados apenas uma vez e uma camada contém apenas o identificador do *datasource* para que possa ser relacionada a ele no código, como pode ser visto na linha 7.

Outras propriedades da camada, que eram enviadas entre *business-api* e *webmap*, são as *tools*. Cada *tool* indica qual operação está disponível para a camada, como: *download*, metadados, transparência e *zoom*, sendo que cada camada pode ter mais de uma delas. Além disso cada *tool* tem propriedades como: id, nome, seletor e *target*, sendo que as duas últimas propriedades são relacionadas à lógica do código e não precisam ser enviadas entre *business-api* e *webmap*. Para que esses dados não sejam enviados de

forma duplicada, mudou-se a implementação da *business-api* para que apenas os identificadores das *tools* sejam enviados juntamente com cada camada. Os dados completos de cada *tool* foram definidos em código e são acessados a partir do identificador.

Todas as funcionalidades do SisGEO foram verificadas por meio de testes manuais pela equipe de desenvolvimento, enquanto o código foi examinado por meio de inspeção visual, para avaliar se as alterações realizadas estão de acordo com padrões propostos pela tecnologia *Angular*, tal como o padrão de componentes, que especifica que um componente é uma unidade de código reutilizável, representando um elemento da interface gráfica, facilitando a manutenção do código (JAIN; BHANSALI; MEHTA, 2014).

Tabela 1 - Trecho de algoritmo com pseudocódigo para fazer as requisições de *datasources* e *visions* separadamente.

Linha	Trecho de pseudocódigo
1	let visions = buscarTodasVisions();
2	let datasources = buscarTodosDatasources();
3	...
4	layers.paraCada((layer)=> {
5	...
6	const layer = nova Layer(l.id);
7	layer.adicionarDataSource(datasources.encontre(d => d.id == l.datasourceId));
8	...
9	layers.inserir(layer);
10	});

Fonte: Autores, 2022.

2.2. Implantação

As imagens geoespaciais são servidas pelo Geoserver, um *software* que permite edição e compartilhamento de dados geoespaciais (GEOSERVER, 2020). O *software Nginx* é um servidor *web*, integrado ao SisGEO que atua como servidor *proxy*, interceptando requisições feitas ao Geoserver, para simplificar e controlar o acesso de dados (SYSOEV, 2019).

O módulo *webmap* é composto das tecnologias *Angular* e *Leaflet*. *Angular* é um *framework* com funcionalidades que auxiliam no desenvolvimento de aplicações *web* de página única (páginas *web* que ao receberem alguma ação do usuário não necessitam que a página seja recarregada), reutilização de componentes visuais, realização de testes, entre outras. *Leaflet* permite a exibição dos dados geoespaciais por meio de navegadores *web* (AGAFONKIN, 2018).

Para dar suporte ao módulo *webmap* no acesso ao banco de dados, baseou-se em outro módulo do TerraBrasilis, chamado *business-api*, que é uma dependência do *webmap*.

O módulo *business-api* utiliza a tecnologia *spring boot*, que auxilia no desenvolvimento de micro-serviços (SHARMA, 2016). O *business-api* responde às requisições, oriundas do módulo *webmap*, sobre informações de configurações armazenadas em banco de dados. Tanto *webmap* quanto *business-api* possuem licença de código aberto GNU 3.0 (STALLMAN, 2007), sendo permitidas modificação e utilização, desde que o *software* resultante da adaptação esteja sob a mesma licença.

Para facilitar a implantação do SisGEO, tanto localmente quanto em ambiente de produção, utilizou-se a tecnologia *Docker*. Segundo Garcia e Coin (2019), *Docker* utiliza o conceito de *containers*, que são unidades de *software* que agrupam não apenas uma aplicação de *software* desejada, mas também *softwares* dependentes. A Figura 1 ilustra a interação entre *containers* das tecnologias utilizadas no SisGEO.

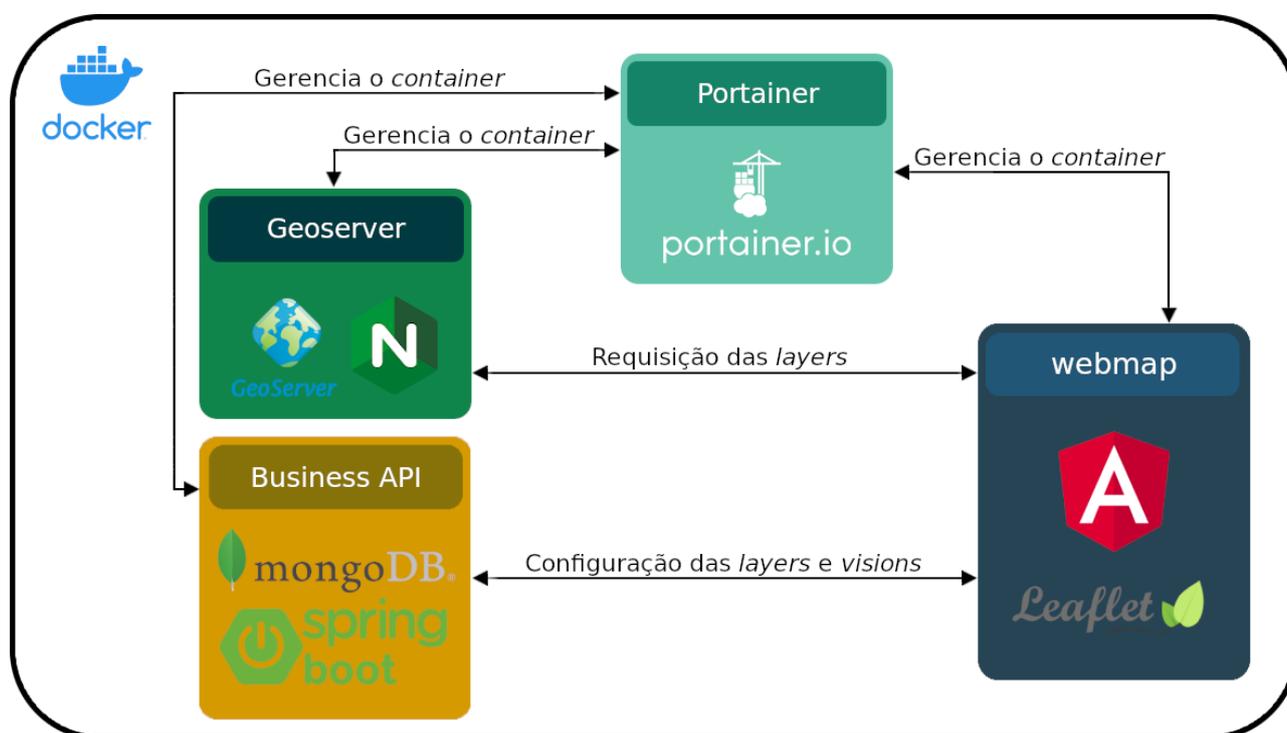


Figura 1 - Fluxograma da interação entre os *containers* das tecnologias utilizadas no SisGEO.

Fonte: Autores, 2022.

Por exemplo, o *container*, do projeto *business-api*, tem além do código em si, necessário para sua execução, o código da sua dependência *MongoDB* (MERRIMAN; HOROWITZ; RYAN, 2020), que é uma tecnologia de banco de dados NoSQL (não-relacional) (LÓSCIO; OLIVEIRA; PONTES, 2011), baseada em documentos armazenados no formato JSON (*JavaScript Object Notation*). Utilizou-se um *container*, da tecnologia Portainer, proposta por Crosby, Alquist e Lapenna (2018), que permite o gerenciamento de outros *containers*, sendo que o gerenciamento deles é feito via interface gráfica em um

navegador *web*.

Quando o usuário acessa o mapa do SisGEO, o módulo *webmap* recebe essa solicitação e faz uma requisição ao *container* contendo o módulo *business-api* solicitando os dados para exibição em tela. Esses dados contêm informações de configurações como: a ordem em que as camadas serão exibidas no mapa, a qual agrupamento cada camada pertence, as URLs (*Uniform Resource Locators*) para *download* do arquivo de cada camada e URLs das imagens geoespaciais.

As URLs indicam como requisitar camadas ao container com o módulo Geoserver. À medida que o usuário solicita que uma camada seja exibida em tela, o *webmap* faz requisições ao Geoserver, que por sua vez retorna a imagem da camada solicitada. O *webmap*, ao receber uma camada, processa esses dados com ajuda do *Leaflet*, que interage com o navegador de Internet para que as imagens sejam exibidas.

Inseriram-se no Geoserver as camadas desenvolvidas por Campos e Latuf (2017), bem como dados geoespaciais de projetos executados no Laboratório de Cartografia da UNIFAL-MG. As camadas são constituídas de: (i) mapeamentos do lago de Furnas referentes aos anos de 1995 a 2019; (ii) postos pluviométricos; (iii) rios principais; (iv) limite da bacia hidrográfica de Furnas; (v) e por fim, 97 cartas topográficas da bacia de Furnas. Alguns desses dados estão no formato *Shapefile* (ESRI, 1998) e outros no formato *Geotiff* (RITTER; RUTH, 1995). No banco de dados inseriram-se as URLs das camadas presentes no Geoserver, acessadas pela aplicação *webmap* e URLs para *download* dos arquivos das camadas.

O SisGEO foi implantado em uma máquina virtual dedicada, no servidor do Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI), da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), que pode ser acessado pelo endereço <https://sisgeo.unifal-mg.edu.br>. O SisGEO responde às requisições que utilizam o protocolo HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*), por meio de certificado de segurança SSL (*Secure Socket Layer*), promovendo segurança na comunicação entre o usuário e o servidor do SisGEO.

2.3. Funcionalidades

No SisGEO as camadas são organizadas por temas de projetos, sendo que em cada camada é possível: alterar ordem de sobreposição das camadas no mapa; fazer *download* do arquivo da camada, para visualização e manipulação por meio de GIS *desktops*; visualizar uma tabela contendo os metadados da camada; alterar a transparência da camada no mapa pelo *slider*, que auxilia na comparação entre camadas (Figura 2);

posicionar o mapa na camada desejada para facilitar sua localização no mapa; obter informações da camada no mapa, que são: área em quilômetros quadrados e *bounding box*, que são os quatro vértices (latitude e longitude), que contornam o retângulo envolvente da camada.

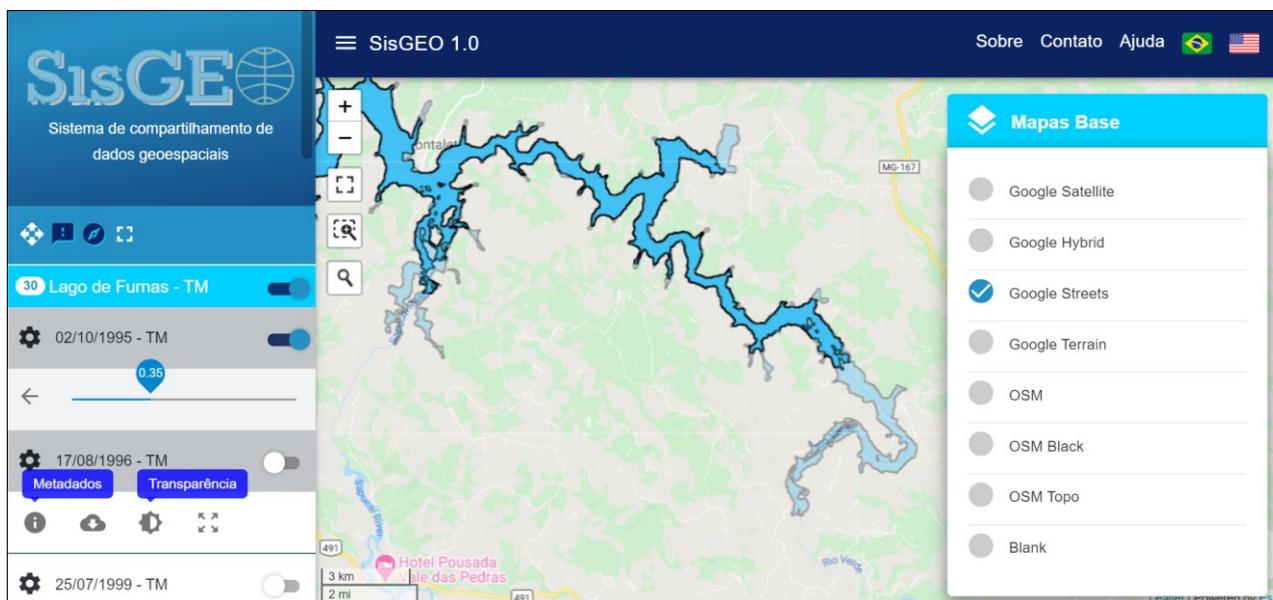


Figura 2 - Captura de tela do SisGEO exibindo em evidência funções e temas.

Fonte: Autores, 2022.

As funcionalidades gerais presentes em um mapa são: alterar o estilo do mapa de fundo; buscar por endereço; buscar por coordenadas geográficas; visualizar latitude e longitude de qualquer ponto do mapa e *zoom*. Na Figura 2 é possível visualizar a lista de mapas de fundo disponíveis, tendo como opções: *OSM*, *OSM Terrain*, *OSM Topo*, que são estilos de mapas da fundação *OpenStreetMap* (COAST, 2015) e também *Google Satellite*, *Google Streets*, *Google Hybrid*, estilos de mapa do *Google* (GOOGLE MAPS, 2020).

Após implantação do SisGEO em ambiente de produção, notou-se a lentidão no carregamento inicial do mapa, ao realizar operações na camada como: ativar, desativar, alterar transparência e ao navegar pelo mapa quando muitas camadas estavam ativas ao mesmo tempo.

O problema de navegação lenta pelo mapa, quando muitas camadas eram ativadas simultaneamente, ocorria, principalmente, com camadas das cartas topográficas (aproximadamente 80 *megabytes*), consideravelmente maiores que os arquivos das camadas do espelho d'água do lago de Furnas, que têm aproximadamente 2 *megabytes*. Para contornar esse problema, optou-se por limitar o sistema de ativar no mapa mais de 3 camadas de cartas topográficas concomitantemente, sendo que, no restante das *visions*,

optou-se por limitar em até 10 camadas simultâneas. Implementou-se essa funcionalidade com a possibilidade de customização, sendo que é possível alterar esses limites por meio de comandos no banco de dados.

Mediante a testes de desempenho realizados na fase de carregamento inicial do mapa, visualizou-se que o fato de carregar todos os componentes visuais, de todas as camadas, estava degradando consideravelmente o desempenho do SisGEO. Para resolução desse problema, implementou-se a funcionalidade de carregamento sob demanda dos componentes visuais, a partir de solicitação do usuário.

A Tabela 2 mostra parte da implementação dessa funcionalidade, onde contém a função *expandirVision*, chamada quando o usuário solicita que uma *vision* seja expandida, listando suas camadas na GUI. O algoritmo contém a lógica para que a lista de camadas seja exibida apenas se o usuário solicitar.

Tabela 2 - Trecho de pseudocódigo com o algoritmo da funcionalidade de carregamento sob demanda.

Linha	Trecho de pseudocódigo
1	<code>expandirVision(vision: Vision) {</code>
2	<code>se (vision.carregada == false) {</code>
3	<code>vision.carregada = true;</code>
4	<code>renderizarLayers();</code>
5	<code>adicionarEventosDasLayers();</code>
6	<code>}</code>
7	<code>...</code>
8	<code>}</code>

Fonte: Autores, 2022.

Após essas alterações, a equipe de desenvolvimento notou melhorias expressivas e satisfatórias no desempenho do SisGEO, quando acessados por computadores de diferentes configurações e navegadores. O SisGEO pode ser acessado de qualquer dispositivo (móvel ou *desktop*) que possua acesso à Internet.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de tecnologias e ferramentas de *software* livre, foi possível disponibilizar à sociedade dados geoespaciais e metadados da região da bacia hidrográfica do lago de Furnas, de forma gratuita, pela Internet. Esses dados podem ser acessados por qualquer cidadão que possua um computador que tenha acesso à Internet, por meio de um navegador *web*.

Com a estrutura de *software* implantada, torna-se possível a alimentação de dados geoespaciais de diversos outros projetos, ampliando a divulgação de resultados de

pesquisas acadêmicas e aumentando a visibilidade dos mesmos. Porém, essa atividade é limitada às pessoas com conhecimento em banco de dados NoSQL e uso de tecnologias que fazem requisição HTTP, como Postman (ASTHANA; SOBTKI; KANE, 2020).

Nesse sentido, a cooperação interdisciplinar entre o INPE, GeoHidro e o curso de Ciência da Computação da UNIFAL-MG será mantida, visando não somente o incremento de dados geoespaciais no banco, além da implementação de novas funcionalidades no sistema, mas também almejando a formação de recursos humanos com alta competência técnica nas áreas de Cartografia e Computação.

Visando a continuação das atividades, esforços serão empenhados na implementação de uma interface gráfica *web* ou uma aplicação *desktop*, no intuito de facilitar a inserção de dados no SisGEO, bem como buscar por melhorias no servidor, relacionadas à capacidade de armazenamento e memória para processamento; a adição de funções de acesso a banco de dados geoespaciais remotos, via protocolos WMS (*Web Map Service*), WFS (*Web Feature Service*) e WCS (*Web Coverage Service*); desenvolvimento de rotina para que o usuário possa elaborar um documento cartográfico via *WebGIS*; inclusão de funcionalidades na mudança de cores e legendas das camadas; aprimorar a catalogação e edição de metadados e, por fim, integrar de forma mais fluida dados *rasters*, potencializando a disponibilização de recortes de imagens de satélite e veículos aéreos não-tripulados, bem como modelos digitais de elevação.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mais especificamente à uma das coordenadoras do programa TerraBrasilis, Dra. Karine Reis Ferreira, que apoiou a iniciativa do SisGEO desde o início, assim como, ao Desenvolvedor de Software Sênior, André Carvalho, pelas diversas vezes que nos auxiliou ao longo desta caminhada. Não menos importante, gostaríamos de agradecer também ao Núcleo de Tecnologia de Informação da UNIFAL-MG, por servir das estruturas computacionais necessárias ao sistema.

REFERÊNCIAS

AGAFONKIN, V. **Leaflet**. Versão 1.3.1. Disponível em: <https://leafletjs.com/download.html>. Acesso em: 25 jul. 2020.

ASSIS, L. F. F. G.; FERREIRA, K. R.; VINHAS, L.; MAURANO, L.; ALMEIDA, C.; CARVALHO, A.; RODRIGUES, J.; MACIEL, A.; CAMARGO, C. **TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping**. International Journal of Geo-Information. São José dos Campos: INPE, 2019.

ASTHANA, A.; SOBTKI, A.; KANE, A. **Postman: The Collaboration Platform for API Development**. Versão 7.24.0. 2020. Disponível em: <https://www.postman.com/downloads/>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.

CAMPOS, L. B.; LATUF, M. O. Base cartográfica digital da bacia hidrográfica do Lago de Furnas. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências - Unicamp, 2017. p. 5732-5736.

COAST, S. **The Book of OSM**. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015.

CROSBY, M.; ALQUIST, K.; LAPENNA, A.; **Portainer**: Simple management UI for Docker. Versão 1.19.2. 2018. Disponível em: <https://github.com/portainer/portainer>. Acesso em: 20 jul. 2020.

DAVIS, P. The Xerox PARC map server: an interactive hypermedia map viewer. **Database Weston**, v. 18, n. 2, p. 65-67, 1995.

ESRI. **ESRI shapefile technical description**. 1998. Disponível em: <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf/>. Acesso em: 25 jul. 2020.

FUU, P.; SUN, J. **Web GIS: Principles and Applications**. Redlands (CA): ESRI Press, 2010.

GARCIA, W.; COIN, P. F.; Docker - Containers não são VM's. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA, GESTÃO E EDUCAÇÃO, 2019. 3., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Faculdade Alcides Maya, 2019. p. 5-10.

GEOSERVER. **GeoServer opensource**. Disponível em: <http://geoserver.org/>. Acesso em: 07 out. 2020.

GOOGLE MAPS. **Google**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/>. Acesso em: 09 out. 2020.

I3GEO. **I3geo Documentação**. 2011. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/documentacao/>. Acesso em: 17 out. 2011.

JAIN, N.; BHANSALI, A.; MEHTA, D. AngularJS: A modern MVC framework in JavaScript. **Journal of Global Research in Computer Science**, v. 5, n. 12, p. 17-23, 2014.

LÓSCIO, B. F.; OLIVEIRA, H. R. de; PONTES, J. C. de S. NoSQL no desenvolvimento de aplicações web colaborativas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS COLABORATIVOS, 2011, 8., 2011. Paraty. **Anais...** Paraty: CESC, 2011. p. 1.

MERRIMAN, D.; HOROWITZ, E.; RYAN, K. **MongoDB**. Versão 4.2.3. 2020. Disponível em: <https://docs.mongodb.com/manual/tutorial/>. Acesso em: 16 ago. 2020.

OGC. Open Geospatial Consortium. **OGC Standards and Resources**. 2020. Disponível em: <<https://www.ogc.org/standards>>. Acesso em: 07 out. 2020.

RITTER, N.; RUTH, M. **GeoTIFF Format Specification GeoTIFF Revision 1.0**. 1995. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joseph_Messina/publication>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SHARMA, S. **Mastering microservices with java**. 2016. Disponível em: <https://www.safaribooksonline.com/library/view/mastering-microservices/>. Acesso em: 06 nov. 2020.

SOUZA, V. C. O.; OLIVEIRA, M. L. R.; VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R. Portal Vertical GeoSolos - Spring Web na divulgação dos resultados de pesquisa em regiões cafeeiras de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 2389-2396.

STALLMAN, R. **The GNU Operating System and the Free Software Movement**. 2007. Disponível em: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>. Acesso em: 11 jul. 2020.

SYSOEV, I. **Nginx**. Versão 1.15.3. 2019. Disponível em: <http://nginx.org/en/download.html>. Acesso em: 11 ago. 2020.

TICHELER, J.; HIELKEMA, J. U. Geonetwork opensource: Internationally Standardized Distributed Spatial Information Management. **OSGeo Journal**, v. 2, p. 1, 2007.

WALLACE, E.; FIELD, D. **Figma**. Versão 76.4.0. 2019. Disponível em: <https://www.figma.com/downloads/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

Recebido: 09.10.2021

Aceito: 07.03.2022