

GOOGLE EARTH ENGINE: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Eléia Righi

Doutora, professora adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). Pós-doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – UFRGS
E-mail: eleia-righi@uergs.edu.br

Pâmela Boelter Herrmann

Engenheira e Gestora Ambiental, Especialista em Informações Espaciais Georreferenciadas, Mestre e Doutoranda em Sensoriamento Remoto – UFRGS
E-mail: pamelaboelter@gmail.com

Francisco da Silva Costa

Professor Doutor da Universidade do Minho (Portugal); Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade (CECS)
E-mail: costafs@geografia.uminho.pt

Clódis de Oliveira Andrades Filho

Doutorado em Geociências (Geoquímica e Geotectônica) pela Universidade de São Paulo
Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
E-mail: clodisfilho@gmail.com

RESUMO

O sensoriamento remoto combinado com a plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE) é uma alternativa promissora, rápida e fácil para análise de grandes áreas por amplos períodos. Neste sentido, o desenvolvimento do GEE criou expectativas pujantes no sensoriamento remoto e para a utilização de dados geoespaciais. E embora, esta plataforma tenha sido lançada em 2010 e tenha sido comprovado seu alto potencial para diferentes aplicações, ela não foi totalmente investigada em relação ao seu potencial teórico e qualitativo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi organizar uma análise bibliométrica da produção científica de diferentes aspectos da plataforma GEE. O método bibliográfico de organização e busca é o utilizado para o estudo proposto, trazendo o apanhado de publicações sobre o tema “*Google Earth Engine*” da série histórica da rede CAFe do portal Periódicos CAPES (Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de 2011 a 2023. Verificou-se que embora os estudos tenham avançado, muito ainda precisa ser desenvolvido para que as técnicas e resultados cheguem a nível global. Em relação as aplicações, diversos trabalhos conseguiram resultados satisfatórios a excelentes, no entanto, uma investigação abrangente dos tipos de sensores e métodos confiáveis, ainda é pequena, para monitoramentos ambientais em larga escala e com resultados mais precisos.

PALAVRAS-CHAVE: GEE; Sensoriamento Remoto; Geotecnologias.

GOOGLE EARTH ENGINE: BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC PRODUCTION

ABSTRACT

Remote sensing combined with the Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform is a promising, fast and easy alternative for analyzing large areas for extended periods. In this sense, the development of the GEE created strong expectations in remote sensing and for the use of geospatial data. And although, this platform was launched in 2010 and its high potential for different applications has been proven, it has not been fully investigated regarding its theoretical and qualitative potential. Therefore, the objective of this work was to organize a bibliometric analysis of the scientific production of different aspects of the GEE platform. The bibliographic method of organization and

search is used for the proposed study, bringing the collection of publications on the theme "Google Earth Engine" from the historical series of the CAFE network of the CAPES Periódicos portal (Periodic Portal of the Coordination for the Improvement of Level Personnel Superior) from 2011 to 2023. It was verified that although the studies have advanced, much still needs to be developed so that the techniques and results reach a global level. Regarding applications, several works have achieved satisfactory to excellent results, however, a comprehensive investigation of the types of sensors and reliable methods is still small, for large-scale environmental monitoring and with more accurate results.

KEYWORDS: GEE; Remote sensing; Geotechnologies.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de Sensoriamento Remoto (SR) coletam grandes volumes de conjuntos de dados há décadas, gerenciando e analisando com pacotes de *software*. Nessa linha, o Google desenvolveu uma plataforma de computação em nuvem, chamada *Google Earth Engine* (GEE) que facilita o processamento de amplos dados geográficos em grandes áreas, e o monitoramento do ambiente por longos períodos (Amani *et al.*, 2020).

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 de código aberto. O arquivo de dados atual inclui aqueles de outros satélites, bem como conjuntos de dados vetoriais baseados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), dados sociais, demográficos, meteorológicos, modelos digitais de elevação e dados climáticos (Mutanga; Kumar, 2019).

A plataforma GEE de uso gratuito fornece acesso a *petabytes* de imagens de Sensoriamento Remoto, processamento paralelo de alta velocidade e algoritmos usando a infraestrutura computacional do Google e uma biblioteca de *Application Programming Interfaces* (APIs) com ambientes de desenvolvimento que suportam linguagens de codificação, como *JavaScript* e *Python* (Tamiminia *et al.*, 2020).

O GEE tem sido empregado em uma ampla gama de aplicações, como classificação de cobertura/uso do solo, hidrologia, planejamento urbano, desastres naturais, análises climáticas e processamento de imagens (Amani *et al.*, 2020). Os dados disponíveis são de vários satélites, como a série Landsat completa, *Moderate Resolution Imaging Spectrometer* (MODIS), *National Oceanographic and Atmospheric Administration Advanced* de altíssima resolução (NOAA-AVHRR), Sentinel 1, 2 e 3, *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), dentre muitos outros (Kumar; Mutanga, 2018).

Todas as imagens brutas estão disponíveis, juntamente com imagens em mosaico e imagens limpas de nuvens. Alguns conjuntos de dados foram pré-processados para converter números digitais

brutos em refletância do topo da atmosfera e até refletância de superfície, tornando-os adequados para análises posteriores sem a necessidade de *software* especializado para correções solares e atmosféricas. Outros produtos computados prontos para uso, como o Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), também estão disponíveis (Kumar; Mutanga, 2018).

Wang *et al.* (2020), conseguiram analisar aproximadamente 44.528 imagens do Landsat TM/ETM+/OLI usando a plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE) para produzir mapas anuais de planícies de maré costeiras no leste da China de 1986 a 2016 com resolução espacial de 30 m.

Pan *et al.* (2023), analisaram parâmetros do modelo hidrológico distribuído baseado em sensoriamento remoto utilizando o GEE, e concluíram que as simulações de processos hidrológicos são mais rápidas e confiáveis para o gerenciamento integrado de recursos hídricos, alcançando resultados vantajosos em termos de eficiência e precisão.

Liu *et al.* (2018), usaram uma escala multitemporal de alta resolução de solos urbanos globais (superfícies impermeáveis) usando imagens Landsat, baseadas na plataforma GEE. Assim, descobriram que a área urbana do mundo aumentou, atingindo uma cobertura global de 0,63%.

As informações sobre a cobertura da terra desempenham um papel vital em muitos aspectos da vida, desde científicos, econômicos e até políticos. Informações precisas sobre a cobertura da terra afetam todas as aplicações subsequentes. Neste sentido, os estudos de cobertura vegetal e uso do solo do mundo com maior precisão ao usar imagens de satélite de séries temporais, foram as disponibilizadas pelo *Google Earth Engine* (Phan; Kuch; Lehnert, 2020).

Vários trabalhos recentes relataram que a mudança contínua de uso/cobertura da terra está tendo um impacto cada vez mais negativo em vários aspectos da superfície do planeta, como ecossistemas terrestres, balanço hídrico, biodiversidade e clima (SALAZAR *et al.*, 2015).

As análises da dinâmica da cobertura da terra em diferentes escalas espaciais, utilizando o GEE, que fornece acesso a dados e técnicas analíticas avançadas em “big data”, podem reduzir a resolução espacial de 300m para 30m (ou menos), ao sobrepor/fundir classificações e tipos de imagens. Exigindo, assim, menos conhecimento específico da região para os pesquisadores e fornecendo novas informações para políticas públicas e privadas em classificações altamente precisas em escalas mais detalhadas (Lee; Cardille; Coe, 2018).

O desenvolvimento do GEE criou expectativas pujantes no sensoriamento remoto e para a utilização de dados geoespaciais. E embora, esta plataforma tenha sido lançada em 2010 e tenha sido

comprovado seu alto potencial para diferentes aplicações, ela não foi totalmente investigada em relação ao seu potencial teórico e qualitativo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi organizar uma análise bibliométrica da produção científica de diferentes aspectos da plataforma GEE.

O GEE torna-se uma importante ferramenta para o monitoramento diário, mensal, sazonal e de longo prazo de fenômenos em alta resolução espacial e cobrindo grandes extensões para o Estado do Rio Grande do Sul e para o Brasil, pois podemos resolver problemas ambientais em função de suas amplas aplicações, desde mineração, agricultura, serviços ecossistêmicos, monitoramento de secas e desastres naturais, entre outros.

Em relação aos desastres naturais que afetaram o Brasil no ano de 2023, foi alcançado recordes de eventos hidrológicos e geohidrológicos, conforme dados divulgados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2024). O Rio Grande do Sul concentrou grande parte dos alertas emitidos e o maior percentual de mortes. O Estado registrou 56% do total de óbitos associados a eventos relacionados à chuva no país. Neste sentido, o GEE agora permite que cientistas, investigadores e nações explorem este enorme armazém de dados para detecção de alterações, mapeiem tendências e quantifiquem recursos na superfície do Globo como nunca antes, diminuindo os potenciais desastres que podem ocorrer.

METODOLOGIA

A construção da ciência e da pesquisa sempre deve ser baseada em métodos e técnicas, além disso é necessário estar fundamentada na epistemologia. Vários autores, ainda salientam que dados quantitativos e qualitativos devem estar entrelaçados com a teoria e com o empírico, o lógico, o real e o ideal. Portanto, Severiano (2013, p. 88) ressalta que, “a ciência se faz quando o pesquisador aborda os fenômenos aplicando recursos técnicos, seguindo um método e apoiando-se em fundamentos epistemológicos”.

Para Yin (2015), deve-se sempre considerar dados qualitativos e quantitativos em qualquer estudo de caso, além disso eles são complementares, permitindo, uma análise mais complexa dos fenômenos e processos estudados.

Neste sentido, os “dados quantitativos ou numéricos são verificados por meio de medições de grandezas e obtém-se por meio da metrologia, números com suas respectivas unidades” (PEREIRA *et al.*, 2018 p. 69). Os autores ainda ressaltam como o enfoque matemático muitas vezes torna-se importante por possibilitar a previsão dos fenômenos.

Já para Prodanov e Freitas (2013), nas pesquisas qualitativas, as variáveis, que são os elementos observáveis, são descritas ou explicadas. Pereira *et al.* (2018) descrevem que, nos métodos qualitativos, o importante é a interpretação por parte do pesquisador através de suas opiniões sobre o fenômeno em estudo.

Para a construção de qualquer trabalho se torna muito importante também a revisão bibliográfica, a qual permite a identificação de lacunas de conhecimento, a formulação de hipóteses e objetivos de pesquisa, e o estabelecimento de bases teóricas e metodológicas para a pesquisa. Além disso, permite o levantamento e análise crítica do conhecimento já produzido sobre o tema em questão (Gall; Gall; Borg, 2013).

O método bibliográfico de organização e busca é o utilizado para o estudo proposto, trazendo o apanhado de publicações sobre o tema “*Google Earth Engine*” da série histórica da rede CAFe do portal Periódicos CAPES (Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de 2011 a 2023 (até 03/09/2023).

A contribuição do estudo, também, busca se apoiar na geração de *clusters* de palavras-chave, com a utilização do *software Word Cloud*, assim como do *software VOSviewer*, onde se torna possível visualizar e traçar análises de toda a lista de trabalhos resultantes da busca desenvolvida para este documento.

Para trazer a discussão do tema, foram utilizados os seguintes parâmetros: Palavra-chave: “*Google Earth Engine*”; Filtro 01: Artigos; Anos: 2011 até 2023 (pois, o assunto surge a partir de 2011 em artigos); Filtro 02: Periódicos revisados por pares. O assunto ficou limitado a 2.864 documentos encontrados. Dentre esses, foram selecionados os 50 artigos com maior impacto da base de dados, sendo os que tiveram maior fator de impacto dos periódicos onde foram publicados. A partir destes processos, esse estudo teve o desafio de identificar os diferentes aspectos e dimensões do assunto, analisando também parâmetros específicos como os satélites e sensores, metodologia aplicada e alvo da pesquisa.

Essa plataforma foi escolhida, pois dispõem de muitas publicações periódicas, internacionais e nacionais, e diversas bases de dados, como a *Web of Science* e a *Elsevier Science Direct Journals*. Inclui também uma seleção de importantes fontes de informação científica e tecnológica de acesso gratuito na *web*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na presente pesquisa, foram utilizados os 50 artigos sobre o tema “*Google Earth Engine*” de maior impacto da base de dados (de 2011 até 2023), para uma mensuração e qualificação deste assunto. Foi utilizada essa série histórica, pois na plataforma os artigos aparecem somente a partir de 2011.

Na Tabela 01, foi listada a quantidade de artigos em cada ano. Pode-se verificar que apenas a partir de 2016 os artigos começam a ter alto grau de impacto, e no ano de 2020 houve o maior número de publicações sobre esse assunto com maior relevância e maior impacto na produção científica da base de dados. Esses dados demonstram, que neste campo científico foram necessários praticamente 10 anos de desenvolvimento de pesquisas para as técnicas começarem o processo de consolidação.

Tabela 1 - Artigos publicados da série histórica com maior impacto.

Ano	Nº de Artigos Publicados	%
2016	2	4
2017	4	8
2018	10	20
2019	10	20
2020	12	24
2021	7	14
2022	3	6
2023	2	4
Total	50	100

Fonte: Autores (2023).

Nas 50 publicações de maior relevância sobre o tema, foram identificados 321 autores/pesquisadores que se dedicaram a trabalhar com o assunto. O artigo que teve menos autores, foram dois e o artigo com mais autores, foram treze. Todos os artigos foram publicados na língua inglesa.

Os dois principais periódicos que publicaram os artigos foram a *International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences* e *Iop Conference Series. Earth And Environmental Science*. O *Journal Citation Reports* (JCR) é uma métrica em nível de periódico calculada a partir de dados indexados na *Web of Science Core Collection*, e para esses periódicos no ano de 2022 foi de 13,5, para ambos.

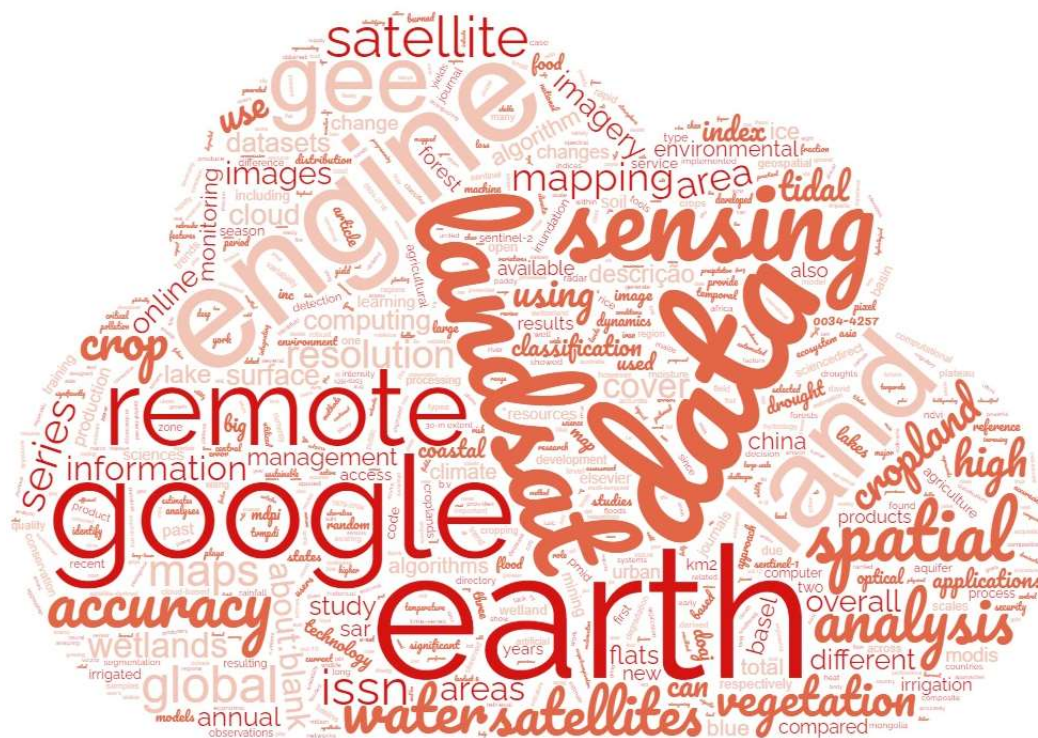
Os principais assuntos procurados são: *Science & Technology*, *Remote Sensing*, *Life Sciences & Biomedicine*, *Environmental Sciences & Ecology*, e *Google Earth Engine*, nesta sequência de

importância. As principais coleções foram: *DOAJ Directory of Open Access Journals*, *Science Citation Index Expanded (Web of Science)*, *Elsevier Science Direct Journals* e *Springer Nature Complete Journals*. que possuem muito impacto em suas publicações.

Em relação aos temas abordados nas pesquisas elas são voltadas para vários aspectos da superfície, variando de escalas locais até globais, como evolução das áreas urbanas do planeta, ecossistemas terrestres, balanço hídrico, biodiversidade, uso do solo, produção de alimentos e clima. Além disso, temos poucos trabalhos que se dedicaram a análise das produções científicas e a acurácia dos dados obtidos.

Na Figura 01, está apresentado o Mapa de Palavras que foi gerado com base nos artigos analisados na pesquisa, sendo evidenciadas as palavras que apareceram com maior frequência, tendo as mesmas maior destaque. Observa-se que as palavras-chaves “*earth, google, data, landsat e remote*” são as maiores, sendo as mais presentes nos artigos analisados.

Figura 1 - Mapa de palavras dos 50 artigos selecionados na busca na base de dados CAPES-CAFe.

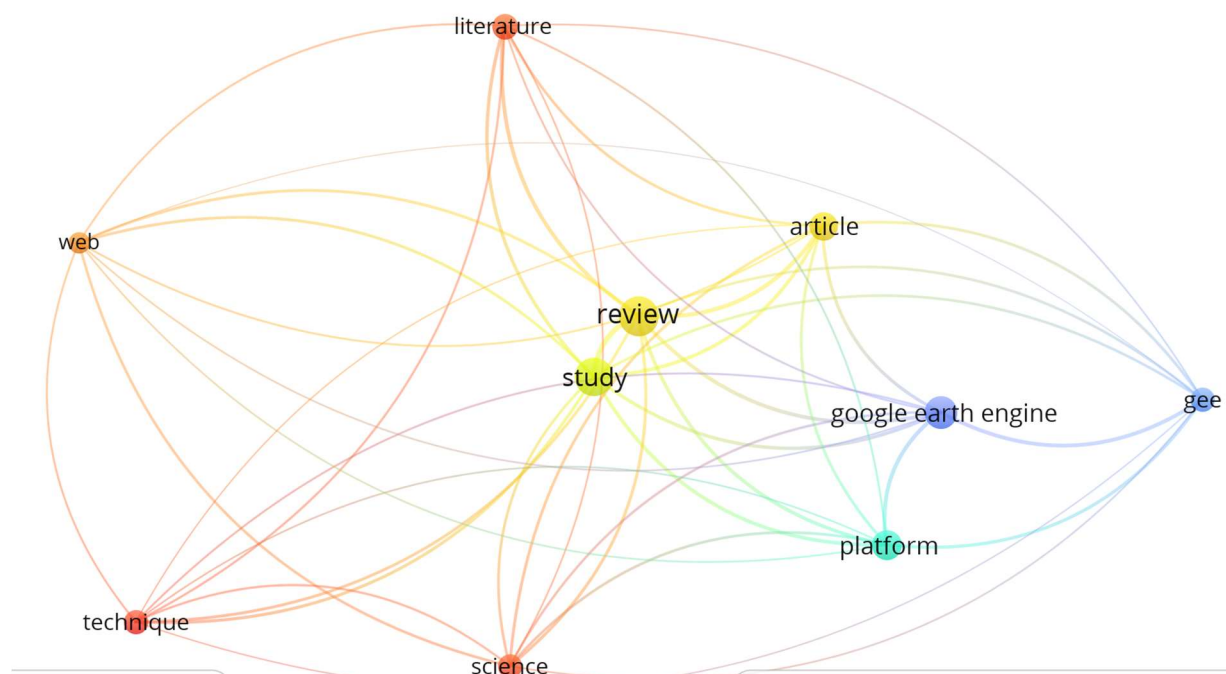


Fonte: Autores (2023).

Na figura 02 as palavras “*study e review*” são as que estão no centro da imagem em relação às outras palavras, isto significa, que a intensidade é alta do que vem sendo verificado sobre o termo

GEE, a análise feita no *VOSviewer* está alinhada com os objetivos e relevância deste artigo e efetivando de uma forma positivista o estudo.

Figura 2 - Clusters de palavras dos 50 artigos selecionados na busca na base de dados CAPES-CAFe.



Fonte: Autores (2023).

Levando em consideração os usos dos tipos de imagens podemos identificar nos 50 trabalhos analisados, de forma massiva, as séries Landsat TM/ETM+/OLI imagery, em segundo momento as imagens Sentinel, posteriormente o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), e os Soil Moisture Ocean Salinity (SMOS) / Soil Moisture Active Passive (SMAP).

Em relação as imagens SAR do Sentinel-1 do GEE, temos um estudo direcionado para a região dos Alpes Austríacos, aplicou uma rotina de processos para correção de inclinação radiométrica (áreas sombreadas) com base angular (Vollrath; Mullissa; Reiche, 2020). Como a região é montanhosa essas técnicas novas possibilitaram superar as limitações atuais, e mesmo não obtendo resultados extremamente satisfatórios, os autores ressaltam que o código é facilmente adaptável para outras missões SAR que possam estar presentes na plataforma GEE no futuro.

Na área agrícola, um estudo realizado no Quênia e na Tanzânia (África), para o ano de 2017, possibilitou verificar a presença de terras agrícolas com resolução de 10 m para as cultivares de milho. A cultura do milho é de extrema importância na comensalidade dos povos africanos. Foi obtido mais de 85% de precisão em ambos os países, sendo o sensor Sentinel-1 mais eficaz (Jin *et al.*, 2019).

As mudanças de temperatura da superfície e as alterações globais do clima estão em foco nas últimas décadas, são também muito estudadas principalmente em áreas urbanas, que são muito pavimentadas. Neste sentido, Ermida *et al.* (2020), aplicaram um código para verificar a Temperatura da Superfície Terrestre (o qual também foi disponibilizado gratuitamente para os usuários do GEE), em uma região do centro de Portugal próxima da cidade de Coimbra, localizada aproximadamente a 40,2°N e 8,4°W. E apesar de ter uma ligeira subestimação e superestimação em alguns valores, o algoritmo se mostrou muito eficiente. Os autores utilizaram as séries Sentinel-1 e medidas de refletância óptica no Sentinel-2.

Huang *et al.* (2017), utilizaram o GEE para detectar a dinâmica da cobertura do solo em Pequim, usando séries temporais anuais do NDVI – Landsat 8, até 2015, em função da qualidade das imagens. Apesar da acurácia geral ficar em 86,61%, os autores conseguiram encontrar padrões de perda e ganho de vegetação nas últimas três décadas, sendo que a perda de vegetação foi maior que o ganho.

Já Chen *et al.* (2021), utilizaram o Landsat para a análise de séries temporais e análise de mistura espectral executada em GEE para monitorar a degradação florestal abrupta e gradual em regiões temperadas. Foi monitorada a degradação florestal e a desflorestação de 1987 a 2019 na Geórgia.

Trabalhos com maior impacto estudados

Inicia-se assim, as discussões levando em consideração os dez artigos com maior relevância e impacto da série analisada. Neste sentido, podemos apontar os seguintes trabalhos, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Os 10 artigos com maior impacto estudados.

N	Título	Autores	Ano
1	Google Earth Engine Applications	Mutanga, Onisimo; Kumar, Lalit	2019
2	Impacts of droughts and floods on croplands and crop production in Southeast Asia – An application of Google Earth Engine	Venkatappa, Manjunatha; Sasaki, Nophea; Han, Phoumin; Abe, Issei	2021
3	Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone	Gorelick, Noel; Hancher, Matt; Dixon, Mike; Ilyushchenko, Simon; Thau, David; Moore, Rebecca	2017
4	Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine	Kennedy, Robert; Yang, Zhiqiang; Gorelick, Noel; Braaten, Justin; Cavalcante, Lucas; Cohen, Warren; Healey, Sean	2018
5	Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential	Kumar, Lalit; Mutanga, Onisimo	2018
6	Tracking annual changes of coastal tidal flats in China during 1986–2016 through analyses of Landsat images with Google Earth Engine	Wang, Xinxin; Xiao, Xiangming; Zou, Zhenhua; Chen, Bangqian; Ma, Jun; Dong, Jinwei; Doughty, Russell B.; Zhong, Qiaoyan; Qin, Yuanwei; Dai, Shengqi; Li, Xiangping; Zhao, Bin; Li, Bo	2020
7	Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review	Tamiminia, Haifa; Salehi, Bahram; Mahdianpari, Masoud; Quackenbush, Lindi; Adeli, Sarina; Brisco, Brian	2020
8	Monitoring the Impact of Land Cover Change on Surface Urban Heat Island through Google Earth Engine: Proposal of a Global Methodology, First Applications and Problems	Ravanelli, Roberta; Nascetti, Andrea; Cirigliano, Raffaella; Di Rico, Clarissa; Leuzzi, Giovanni; Monti, Paolo; Crespi, Mattia	2018
9	Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of ImageComposition	Phan, Thanh Noi; Kuch, Verena; Lehnert, Lukas W.	2020
10	Estimating Satellite-Derived Bathymetry (SDB) with the Google Earth Engine and Sentinel-2	Traganos, Dimosthenis; Poursanidis, Dimitris; Aggarwal, Bharat; Chrysoulakis, Nektarios; Reinartz, Peter	2018

Fonte: Autores (2023).

O estudo de Mutanga e Kumar (2019), tornou-se um dos mais citados e procurados sobre o assunto. O artigo trás as contribuições de autores e as principais áreas de aplicação do GEE, sendo

categorizadas em cinco blocos: mapeamento e monitoramento da vegetação, mapeamento de cobertura terrestre, aplicações agrícolas, gestão de desastres e ciências da terra. Os autores salientam que o monitoramento diário, mensal, sazonal e de longo prazo de fenômenos em alta resolução espacial e cobrindo grandes extensões é agora possível com a disponibilidade de plataformas capazes de lidar com *big data*.

Já, Kumar e Mutanga (2018), realizaram uma análise bibliométrica entre 2011 e junho de 2017, em relação a literatura publicada, e naquele instante encontraram somente 300 artigos em periódicos. O maior número de artigos foi na revista *Remote Sensing*, seguida por *Remote Sensing of Environment*. Houve também uma série de artigos em revistas *premium*, como *Nature* e *Science*. Naquela série histórica analisada o sensor Landsat foi o conjunto de dados mais utilizado; é o maior componente do portal de dados GEE, com dados da primeira até a atual série Landsat disponíveis para uso e *download*.

Como verificamos neste estudo, no Portal Periódicos CAPES-CAFe, foram encontrados 2.864 artigos, revisados por pares, na série histórica de 2011 até setembro de 2023. Demonstrando, assim, como aumentaram as discussões e aplicações em torno do tema. Ressaltamos que a plataforma dispõe de muitas publicações periódicas, incluindo *Web of Science* e a *Elsevier Science Direct Journals*.

Tamiminia *et al.* (2020), analisaram um total de 349 artigos revisados por pares, publicados em 146 periódicos diferentes entre 2010 e outubro de 2019. As publicações e as 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 utilizados em 90% dos estudos, enquanto 10% dos artigos utilizaram produtos prontos para uso para análises.

Em relação aos produtos prontos, os autores salientam que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizado em 27% dos estudos de vegetação, cultivo, mapeamento da cobertura do solo e monitoramento de secas. Os dados da série Landsat, com uma série histórica superior a 40 anos, foram as mais utilizadas (Tamiminia *et al.* 2020).

Venkatappa *et al.* (2021), utilizaram o GEE para calcular os impactos nas terras agrícolas e na produção no Sudeste Asiático, avaliando as secas e inundações ao longo de 40 anos, de 1980 a 2019. Concluíram que tiveram uma perda total de 20,64 milhões de toneladas de produção agrícola na série analisada e 13,1 milhões de hectares de terras. As culturas de sequeiro na Tailândia, Camboja e Mianmar foram fortemente afetadas pelas secas, enquanto a Indonésia, as Filipinas e a Malásia foram mais afetadas pelas inundações durante o mesmo período.

Neste sentido, as aplicações do GEE se tornam extremamente importantes para contribuir com as alterações climáticas que afetam diretamente a produção agrícola e podem ser instrumentos de intervenções em políticas públicas locais até globais.

Conforme, Gorelick *et al.* (2017), a computação em grande escala está onipresente, é única, mas requer conhecimento especializado para ser usada, além disso, utiliza os grandes recursos computacionais do Google para processar muitos dados voltados para desmatamentos, seca, desastres, doenças, segurança alimentar, gestão de água, monitoramento climático e proteção ambiental.

Os autores ainda ressaltam que, os pesquisadores precisam ter um vasto conhecimento em imagens de sensoriamento remoto e observação da Terra, pois o GEE inclui todos os sensores Landsat, bem como dados do Sentinel-1 e Sentinel-2, como também inclui previsões climáticas, dados de cobertura do solo e muitos outros conjuntos de dados ambientais, geofísicos e socioeconômicos (Gorelick *et al.*, 2017).

O GEE permite também a criação de códigos e algoritmos, dentro de uma linguagem de programação, assim, Kennedy *et al.* (2018), implementaram um algoritmo complexo, baseado em desktop, em um ambiente de processamento paralelo, acessando milhares de imagens, usando a lógica de programação para disponibilizar o novo código LT-GEE a partir do código de herança (LT-IDL). Os autores concluem que, o algoritmo LT-GEE representa uma tradução fiel do código LT em uma plataforma facilmente acessível pela comunidade de usuários mais ampla.

Wang *et al.* (2020), conseguiram com as programações e algoritmos do GEE uma série de dados para as planícies costeiras da China na série histórica de 1986 até 2016, usando imagens de séries temporais Landsat. Além disso, delimitaram a erosão e expansão de planícies de maré no Delta do Rio Amarelo e do Rio Yangtze, sendo um importante apoio para as políticas de gestão sustentável das zonas costeiras na China.

Em relação a batimetria, o estudo de Traganos *et al.* (2018), utilizaram o GEE e o sensor Sentinel-2, obtendo dados coletados *in situ* de baixo custo para desenvolver um fluxo de trabalho empírico de pré-processamento para estimar batimetria derivada de satélite (SDB). Os autores ainda, fornecem acesso ao código desenvolvido, permitindo ao usuário mapear a batimetria customizando o intervalo de tempo com base nas datas de aquisição dos dados de campo e nas condições ópticas de sua área de estudo.

Traganos *et al.* (2018), ressaltam que plataformas de análise geoespacial baseadas em nuvem, como o Google Earth Engine utilizado, oferecem uma oportunidade sem precedentes para pré-

processamento, processamento e análise em grande escala e em tempo real de dados abertos vitais para o ambiente marinho costeiro.

Na área climática, o GEE permitiu processar mais de 6.000 imagens Landsat adquiridas durante o período 1992-2011, realizando um estudo espaço-temporal amplo e de longo prazo sobre o monitoramento de alterações *Surface Urban Heat Island* (SUHI), ditas como “Ilha de Calor Urbana de Superfície” para as seis cidades norte-americanas, conforme trabalho de Ravanelli *et al.* (2018).

Esse estudo, vem ao encontro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que desde 2015, não tem medido esforços em ações em nível global. O ODS 11 que traz a importância de “Tornar as cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis”, precisa de indicadores adequados, que representem diferentes aspectos das condições da cidade, incluindo obviamente as alterações na cobertura do solo e o clima urbano com a sua característica mais distinta, a ilha de calor urbana (Ravanelli *et al.*, 2018).

Nas aplicações do GEE em relação a cobertura do solo, Phan, Kuch e Lehnert (2020), analisaram dados de refletância de superfície (L8sr) do Landsat 8 com oito estratégias de combinação diferentes para produzir e avaliar mapas de cobertura do solo para uma área de estudo na Mongólia (fronteira com a China e a Rússia). Os resultados mostram que todos os conjuntos de dados produziram mapas de cobertura do solo de moderada a alta precisão, com precisão geral superior a 84,31%. Os autores também se preocuparam em analisar o efeito de diferentes métodos de composição, bem como de diferentes imagens de entrada, nos resultados de classificação.

CONCLUSÕES

O Google Earth Engine tem tido uma grande repercussão no processamento de *big data* de sensoriamento remoto na última década. Isso, por ser uma plataforma baseada em nuvem e que permite o processamento de dados geoespaciais em escala global usando o Google, onde hospeda gratuitamente escalas de *petabytes* com mais de 40 anos de dados.

Verificou-se que vários pesquisadores estão preocupados com mudanças climáticas e desastres naturais, e a avaliação espacial dos impactos de climas extremos (secas e inundações) é urgentemente necessária para ajudar na tomada de decisões públicas e privadas, e na prevenção antecipada de danos sociais, econômicos e ambientais. Como as inundações estão entre os desastres naturais mais prejudiciais a sua avaliação e monitoramento deveriam ser prioridade para o governo do Estado do Rio Grande do Sul.

Portanto, sem esgotar o assunto, verificamos que embora os estudos tenham avançado, muito ainda precisa ser desenvolvido para que as técnicas e resultados cheguem a nível global. Em relação as aplicações, diversos trabalhos conseguiram resultados satisfatórios até excelentes, no entanto, uma investigação abrangente dos tipos de sensores e métodos confiáveis, ainda é pequena, para monitoramentos ambientais em larga escala e com resultados mais precisos.

REFERÊNCIAS

AMANI, M. *et al.* 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**, vol. 13, pp. 5326-5350, 2020. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.3021052.

CEMADEN/MCTI - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Boletim de Impactos de Extremos de Origem Hidro-Geo-Climático em Atividades Estratégicas para o Brasil** – 17/01/2024 ANO 07 Nº 62. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/boletim-de-impactos/boletim-de-impactos-de-extremos-de-origem-hidro-geo-climatico-em-atividades-estrategicas-para-o-brasil-2013-17-01-2024-ano-07-no-62>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CHEN, S. *et al.* Monitoring temperate forest degradation on Google Earth Engine using Landsat time series analysis. **Remote sensing of environment**, Vol.265, p.112648, Article 112648, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112648>

ERMIDA, S. L.; SOARES, P.; MANTAS, V.; GÖTTSCHE, F.-M.; TRIGO, I. F. Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. **Remote Sens.** 12, 1471, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12091471>

GALL, M. D.; GALL, J. P.; BORG, W. R. **Applying educational research: How to read, do, and use research to solve problems of practice.** 7th edition. Pearson, 2013.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**. Volume 202, Pages 18-27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

HUANG, H. *et al.* Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**. Volume 202, 166-176, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.021>

JIN, Z. *et al.* Smallholder maize area and yield mapping at national scales with Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**. Volume 228, 115-128, July 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.016>

KENNEDY, R. E.; YANG, Z.; GORELICK, N.; BRAATEN, J.; CAVALCANTE, L.; COHEN, W. B.; HEALEY, S. Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine. **Remote Sens.** 2018, 10, 691. <https://doi.org/10.3390/rs10050691>

KUMAR, L.; MUTANGA, O. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. **Remote Sensing**. 10, 1509, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>

LEE, J.; CARDILLE, J. A.; COE, M. T. Bulc-U: Sharpening Resolution and Improving Accuracy of Land-Use/Land-Cover Classifications in Google Earth Engine. **Remote Sens**. 10, 1455, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10091455>

LIU, X. *et al.* High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing of Environment**. Volume 209, Pages 227-239, May 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.055>

MUTANGA, O.; KUMAR, L. Google Earth Engine Applications. **Remote Sensing**. 11 (5), 591, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>

PAN, Z. *et al.* GEE can prominently reduce uncertainties from input data and parameters of the remote sensing-driven distributed hydrological model. **Science of The Total Environment**. Volume 870, 20 April, 161852, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161852>

PEREIRA, A. S.; SHITSUKA, D. M.; PARREIRA, F. J.; SHITSUKA, R. **Metodologia da pesquisa científica** [recurso eletrônico]. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 1. ed. 2018. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/358/2019/02/Metodologia-da-Pesquisa-Cientifica_final.pdf. Acesso em: 17 ago. 2023.

PHAN, T. N.; KUCH, V.; LEHNERT, L. W. Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition. **Remote Sens**. 2020, 12, 2411. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2. ed., 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

RAVANELLI, R.; *et al.* Monitoring the Impact of Land Cover Change on Surface Urban Heat Island through Google Earth Engine: Proposal of a Global Methodology, First Applications and Problems. **Remote Sens**. 2018, 10(9), 1488; <https://doi.org/10.3390/rs10091488>

SALAZAR, A.; *et al.* Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. **Global and Planetary Change**. 128, 103–119, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.02.009>

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Ed. Cortez. 2013. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/ccaaab/images/AEPE/Divulga%C3%A7%C3%A3o/LIVROS/Metodologia_do_Trabalho_Cient%C3%ADfico_-_1%C2%AA_Edi%C3%A7%C3%A3o_-_Antonio_Joaquim_Severino_-_2014.pdf. Acesso em: 17 ago. 2023.

TAMIMINIA, H. *et al.* Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. V. 164, June 2020, Pages 152-170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

TRAGANOS, D.; POURSANIDIS, D.; AGGARWAL, B.; CHRYSOULAKIS, N.; REINARTZ, P. Estimating Satellite-Derived Bathymetry (SDB) with the Google Earth Engine and Sentinel-2. **Remote Sens.** 2018, 10, 859. <https://doi.org/10.3390/rs10060859>

VENKATAPPA, M.; SASAKI, N.; HAN, P.; ABE, I. Impacts of droughts and floods on croplands and crop production in Southeast Asia – An application of Google Earth Engine, **Science of The Total Environment**. Volume 795, 15 November 2021, 148829. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148829>

VOLLRATH, A.; MULLISSA, A.; REICHE, J. Angular-Based Radiometric Slope Correction for Sentinel-1 on Google Earth Engine. **Remote Sens.** 12, 1867, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12111867>

WANG, X. *et al.* Tracking annual changes of coastal tidal flats in China during 1986–2016 through analyses of Landsat images with Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**. Volume 238, 1, 110987, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.030>

YIN, R. K. **O Estudo de caso**. Porto Alegre: Bookman, 2015. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6598416/mod_resource/content/1/Livro%20Robert%20Yin.pdf. Acesso em: 17 ago. 2023.