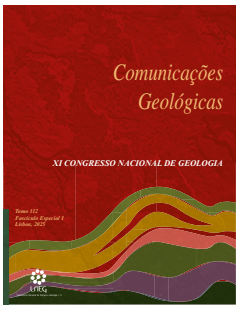
Comunicações Geológicas

Comunicações Geológicas (2025) 112, Especial I, 373-376
ISSN: 0873-948X; **e-ISSN**: 1647-581X

Visualizadores 3D e de observação da Terra como fonte de promoção e expansão do conhecimento geológico

3D and Earth observation viewers as a source of promotion and expansion of geological knowledge



L. Quental[1*], P. Patinha[1], P. Gonçalves[1], A. Pereira[1]

DOI: https://doi.org/10.34637/x0js-vj77
Recebido em 02/10/2023 / Aceite em 08/04/2024
Publicado online em abril de 2025
© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original
Original article

Resumo: Os visualizadores 3D e de observação da Terra no geoPortal de Energia e Geologia proporcionam o acesso a dados multifonte para suportar, melhorar e expandir o conhecimento geológico. Estas plataformas expõem novos dados e disponibilizam novas funcionalidades para uma melhor interação adaptada aos requisitos dos utilizadores. Estes incluem a componente altimétrica, índices de deteção remota, perfis espectrais e comparação com materiais padrão, análise multitemporal e deteção de alterações, para uma visão sinótica da caracterização geológica e evolução atualizada. O resultado geral permite uma melhor compreensão da superfície e subsuperfície da Terra combinando dados de deteção remota, geologia e formas de relevo, promovendo e expandindo assim o conhecimento geológico.

Palavras-chave: geoPortal, 3D, Landsat e Sentinel 2, multitemporal, algoritmos

Abstract: The 3D and Earth observation viewers within geoportal of Energy and Geology provide access to multisource data to support, enhance and expand geological knowledge. These platforms expose new data and allow several new functionalities for improved interaction tailored to the stakeholders needs. These include the elevation component, remote sensing indices, spectral profiles and comparison with standard set of materials, multitemporal analysis and change detection, for a fast overview of geological characterization and updated surface evolution. The overall result allows a better understanding of the Earth´s surface and subsurface combining remote sensing data, geology, and landforms, thus promoting and expanding geological knowledge.

Keywords: geoPortal, 3D, Landsat and Sentinel 2, multitemporal, algorithms

[1] Laboratório de Energia e Geologia – LNEG, Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Apartado 7586- Alfragide, 2610-999 Amadora, Portugal.

[*] Corresponding author / Autor correspondente: lidia.quental@lneg.pt

1. Introdução

A monitorização da superfície da Terra, com recurso a tecnologias de deteção remota, permitiu, ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento de muitos avanços científicos e técnicos (Wulder *et al.*, 2022). De facto, a generalização do acesso a imagens de satélite, especificamente o acesso a imagens globais com resolução espacial moderada (Roy *et al.*, 2014), das missões Landsat (Wulder *et al.*, 2012, 2022) e Sentinel 2 (Szantoi e Strobl, 2019), promoveram a monitorização contínua da dinâmica da superfície terreste (Okujeni, *et al.*, 2024). O aumento da complexidade de informação derivada de deteção remota com recurso a satélite aliada ao volume crescente de dados disponíveis, tornam as aplicações web que permitem o acesso aos utilizadores explorar, visualizar e analisar conjuntos de dados obtidos por meio de deteção remota, soluções interessantes que promovem uma democratização ao nível do acesso independentemente de condicionantes como hardware e software, especificamente no que respeita a manipulação de séries temporais para conjuntos alargados de dados. Igualmente, reveste-se de importância a visualização tridimensional da superfície da Terra, que em conjunto com informação geológica facilita a compreensão de fatores como relevo, tectónica, formações geológicas, recursos naturais, entre outros. De forma a integrar a componente da deteção remota e visualização tridimensional, expandiu-se o geoPortal da Energia e Geologia (GEG) (2020-2024). Este é a infraestrutura de serviços integrados de suporte à gestão e visualização de dados espaciais, que disponibiliza em ambiente web, a informação georreferenciada relacionada com as diferentes atividades do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) nos domínios da Energia e Geologia. O GEG foi lançado em julho de 2020, e corresponde à reestruturação, inovação tecnológica e temática, do anterior geoPortal do LNEG (Almeida *et al.*, 2013).

O GEG disponibiliza diferentes seções, com várias funcionalidades, *i.e. Dados Abertos*, *Metadados*, *Bases de Dados* e *Visualizadores*. Em dezembro de 2022, o anterior visualizador foi renomeado 2D e foram adicionados mais dois visualizadores, 3D e de Observação da Terra (OT), com vista a um aumento das capacidades analíticas e de visualização do GEG.

Os objetivos deste trabalho são: 1) disseminar estas duas plataformas dando a conhecer as suas características e potenciais utilizações, e 2) relevar a importância de aceder a fontes que contribuem para adquirir informação georreferenciada variada sobre a superfície e subsuperfície, em particular para suportar, expandir e promover, o conhecimento geológico embora não limitado a este.

2. Visualizador 3D e de Observação da Terra (OT)

As duas plataformas, suportadas por tecnologia da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), permitem visualizar e aceder a diferentes níveis de informação e de bases de dados. Esta informação é dinâmica no tempo, quer seja relativa a repositórios externos, *e.g.* o

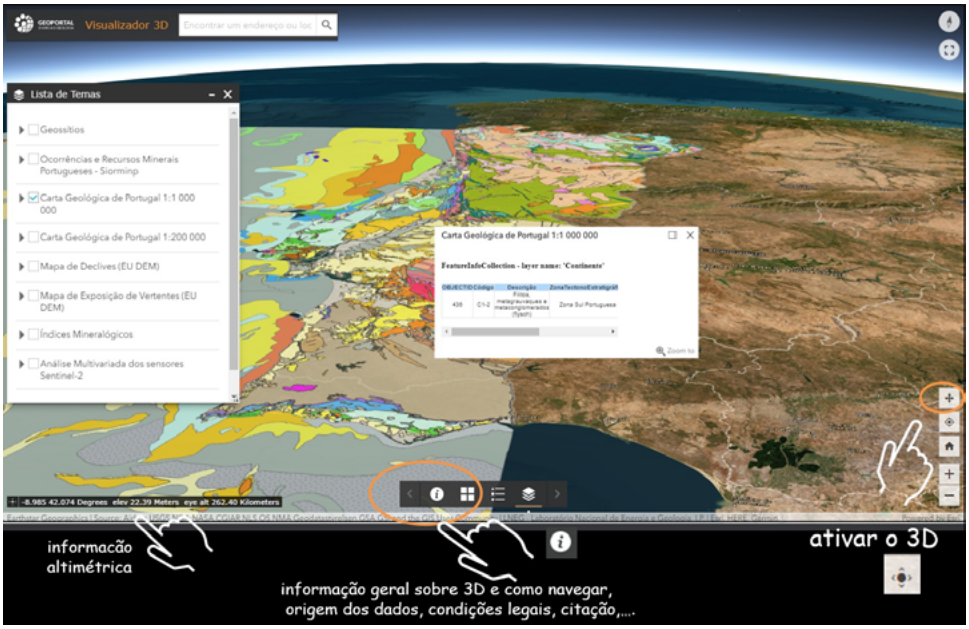


Figura 1. Visão geral do visualizador 3D com sobreposição do tema Carta Geológica de Portugal 1:1 000 000, e acesso a funcionalidades.

Figure 1. Overview of the 3D viewer overlayed with the Geological Map of Portugal 1:1 000 000 theme, and access to functionalities.

acesso a imagens de satélite, quer seja dependente da disponibilização de dados institucionais em contínuo (LDP, 2023). O dinamismo é extensível à evolução de software da tecnologia.

Visualizador 3D - faculta a exploração da superfície da Terra sob diversos ângulos, incorporando a componente altimétrica e de relevo, nomeadamente cota e altitude de observação. Os dados topográficos que suportam a aplicação de altimetria são variáveis para a Terra e derivam de vários conjuntos de dados. A cobertura para Portugal é feita pelo produto da Airbus WorldDEM4Ortho 24m1, com pixel 24,74 metros e datum vertical EGM2008. A componente altimétrica é fornecida à escala real (1:1) sem sobreelevação. O utilizador tem ainda a possibilidade de aproximar a uma escala adequada e sobrepor à componente altimétrica conjuntos de dados 2D, para obter informação adicional e uma melhor compreensão sobre determinado conjunto de dados (Tab. I e Figura 1). A Figura 1 apresenta uma visão geral do visualizador 3D e funcionalidades. Os produtos 2D, bases de dados geográficos e dados derivados de OT, estes processados a nível nacional continental, têm especificações detalhadas na seção de *Metadados* do GEG, acessíveis também via LDP (2023). Quando se inicia o visualizador 3D, a Carta Geológica de Portugal 1:1 000 000 está sobreposta por defeito para conhecimento imediato da componente geológica.

Algumas das funcionalidades da plataforma 3D são visualizáveis em LNEG (2023a), mostrando o incremento adicional de informação, *e.g.* as cristas quartzíticas de Vila Velha de Rodão, com a altimetria e Mapa de Declives (EU-DEM) para melhor enquadramento geomorfológico, ou sobreposição de qualquer outra camada de informação disponível (Tab. 1) a nível de Portugal continental ou nacional. Outro exemplo mostra na Figura 2 a sobreposição da camada Análise Multivariada, desenvolvida com recurso a imagem dos sensores Sentinel 2 (Tab. 1, LPD, 2023), que facilita a discriminação de litologias evidenciando a área de exploração de uma pedreira (a verde no lado esquerdo da imagem esquerda) no Parque Natural da Arrábida. Esta informação compactada de imagens do Sentinel 2 é comparada com a Carta Geológica de Portugal 1:1 000 000 e o Mapa de Declives (EU-DEM), acessível na aplicação 3D ativando as respetivas camadas de informação.

Tabela 1. Produtos 2D, detalhes em LDP (2023), disponíveis no visualizador 3D.

Table 1. 2D products, details in PL (2023), available in the 3D viewaer.

Geodatabases e Mapas	➢ Geossítios ➢ Ocorrências e Recursos Minerais Portugueses SIORMINP ➢ Recursos Hidrogeológicos ➢ Carta Geológica de Portugal na escala (1:1 000 000) ➢ Carta Geológica de Portugal na escala (1:500 000) ➢ Carta Geológica de Portugal na escala (1:200 000) ➢ Mapa de Potencial Eólico Onshore de Portugal Continental
Derivados de OT	➢ Mapa de Declives (EU-DEM) ➢ Mapa de Exposição de Vertentes (EU-DEM) ➢ Índices Mineralógicos ➢ Análise Multivariada dos sensores Sentinel-2

Visualizador de OT - disponibiliza informação sobre os sistemas físicos, químicos e biológicos do planeta através de tecnologias de deteção remota, nomeadamente através de imagens capturadas por duas missões óticas, a) Landsat da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (Wulder *et al.*, 2022) e b) Sentinel 2 (Szantoi e Strobl, 2019) do programa Europeu do Espaço Copernicus. As diferentes bandas de cada um dos sensores podem ser combinadas e visualizadas para evidenciar, em função do comprimento de onda, geologia, vegetação, batimetria, agricultura, entre outros, e selecionados numa listagem de diferentes algoritmos pré-definidos, índices como vegetação normalizada (NDVI), índice de água normalizado (NDWI) e outros passíveis de serem definidos diretamente pelo utilizador, através da aplicação de fórmulas, incluindo a opção de customização da rampa de cores.

Outras funcionalidades incluem extração de informação das imagens, *e.g.*, obter espectros sobre pontos de cenas e comparar com assinaturas espectrais padrão (Figura 3); associar bandas num gráfico

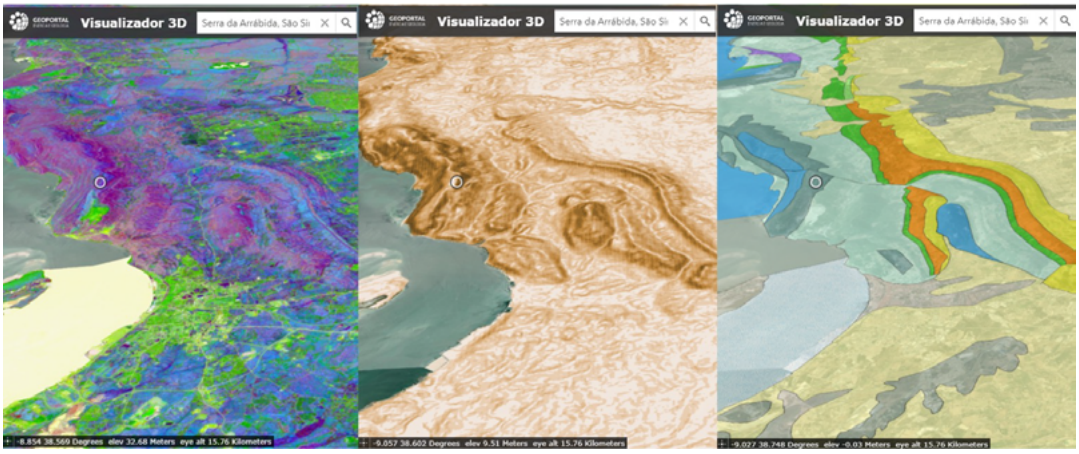


Figura 2 . Visão geral com direção SN do Parque Natural da Arrábida com análise multivariada do Sentinel-2 (Fração de Ruído Mínimo, Minimum Noise Fraction) sobreimposta no Visualizador 3D (esquerda), com Mapa de Declives EU-DEM (centro) e Carta Geológica de Portugal 1:1 000 000 (direita). Legendas na aplicação 3D e detalhes sobre os dados em LDP (2023).

Figura 2 . Overview with SN direction of Arrábida Natural Park with Sentinel-2 multivariate analysis (Minimum Noise Fraction) superimposed on the 3D Viewer (left), with EU-DEM Slope Map (center) and Geological Map of Portugal 1: 1,000,000 (right). Captions in the 3D application and details about the data in PL (2023).

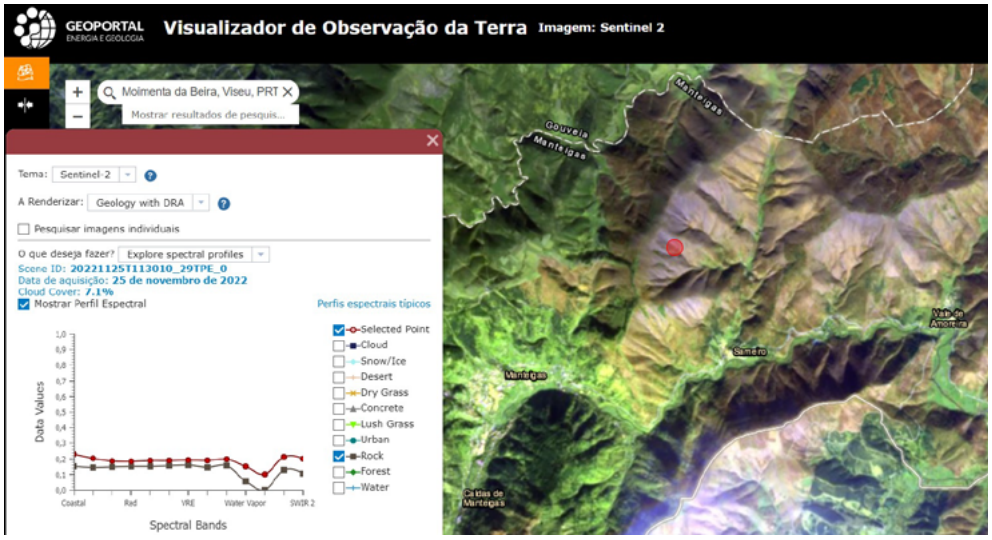


Figura 3. Exemplo de visualização de padrão espectral sobre imagem do Sentinel 2 com o renderizador/algoritmo "geologia" RGB:12 11 2, com ajuste dinâmico e comparação com espectros estandardizados. Tons rosa/castanho correspondem a solo descoberto e verde a vegetação vigorosa.

Figure 3. Example of visualization of spectral pattern on Sentinel 2 image with the "geology" renderer/algorithm RGB:12 11 2, with dynamic adjustment and comparison with standard spectra. Pink/brown tones correspond to bare soil and green to vigorous vegetation.

de dispersão espectral e identificar a relação com traços e materiais de interesse nas imagens; pesquisar imagens numa série temporal de dados e comparar temáticas de interesse usando vários filtros (LNEG, 2023b). Na Figura 3 o renderizador/algoritmo "geologia" corresponde à combinação de bandas RGB: 12 11 2, com duas bandas do infravermelho e azul, útil para apoio na diferenciação litológica (Drury, 1987). Características estruturais como dobras, falhas e cavalgamentos, características texturais de rochas ígneas e sedimentares suportam o mapeamento litológico e geológico, assim como reconhecimento de rochas alteradas hidrotermais, etc. Porém, outras combinações de bandas podem ser visualizadas na renderização e personalizadas, em função da natureza geológica e/ou da cobertura da área que pode mascarar a geologia (*e.g.* vegetação e construção). A Figura 4 exemplifica uma comparação multitemporal da erupção do vulcão de Cumbre Vieja (La Palma, Arquipélago das Canárias) em setembro de 2021, com realce para o padrão de dispersão das escoadas lávicas em duas imagens, uma pré erupção (janela esquerda) e outra após erupção (janela direita), capturando a evolução em cada área geográfica. Outra possibilidade é a de explorar o perfil temporal a partir de um ponto na imagem, o que permite avaliar a evolução de regimes muito dinâmicos, por exemplo de erosão costeira. Refira-se ainda a possibilidade de integração de dados com cariz geográfico diretamente na plataforma do Visualizador de OT e, por outro lado a exportação de dados analisados e tratados para um sistema de informação geográfica *desktop.*

3. Conclusões

Os visualizadores 3D e de observação da Terra acrescentam valor ao geoPortal da Energia e Geologia pela integração de informação diversa e funcional ao repositório de dados do LNEG. Esta informação inclui

Figura 4. Visualizador de observação da Terra. Imagem do satélite Landsat 8 OLI, focado no vulcão de Cumbre Vieja (La Palma) com realce para diferenciação geológica e comparação de duas imagens, uma pré erupção (esquerda 25-02-2019) e outra após erupção (direita 16-11-2022)

Figure 4. Earth observation viewer. Image from the Landsat 8 OLI satellite, focused on the Cumbre Vieja volcano (La Palma) with emphasis on geological differentiation and comparison of two images, one before the eruption (left 25-02-2019) and the other after the eruption (right 16-11-2022)

temas como a altimetria e relevo, análise multitemporal de imagens de satélite (Landsat e Sentinel 2), índices de deteção remota, acesso e integração de dados institucionais com dados geográficos de utilizadores. A disponibilização dessa informação e funcionalidades permitem ao utilizador dispor de um conjunto de ferramentas que favorecem uma maior compreensão e perceção da superfície terrestre, de uma forma rápida e sinótica para posteriores desenvolvimentos.

Os visualizadores 3D e de observação da Terra estão alinhados com os requisitos mais avançados da sociedade digital e são dinâmicos, permitindo a integração de futuras evoluções e melhorias. Algumas melhorias e novas funcionalidades prosseguem no acesso à informação *e.g.* metadados e janelas dinâmicas. Prevê-se também a disponibilização de novos conjuntos de dados de satélite processados, assim como desenvolvimento de mais temas e interfaces entre os diferentes visualizadores de dados geográficos institucionais.

Outras melhorias tecnológicas estarão dependentes do balanço a efetuar entre os condicionalismos existentes das plataformas e evolução do software, e o investimento necessário, *e.g.* controle do exagero vertical, ou tradução integral para português para acesso aos repositórios de imagens.

Agradecimentos

Os visualizadores 3D e de OT foram financiados pelo Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE2020) através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) – Projeto GPGE2020. Os visualizadores 3D e de OT correspondem a produtos ESRI e foram suportados na sua implementação pela ESRI Portugal. A integração na infraestrutura foi apoiada pela KCSIT com desenvolvimento adicional pela DXSparks e financiamento FEDER do Projeto GeoON - Informação Geológica e Mineira Online (POCI-05-5762-FSE-000426).

Agradecemos ao Doutor David Vaz as sugestões e comentários que contribuiram para melhorar e clarificar este artigo, assim como a outro revisor anónimo.

Referências

Almeida, P., Patinha, P., Luís, G., 2013. GeoPortal do LNEG - uma ferramenta para disponibilização de cartografia geológica oficial. In: Geodinâmica e Tectónica Global; A Importância da Cartografia Geológica. 9ª Conferência Anual do GGET-SGP, 47-50.

Drury, S., 1987. Image Interpretation in Geology. London: Allen and Unwin.

LDP, 2023. Lista de produtos em https://geoportal.lneg.pt/pt/listaprodutos/.

LNEG, 2023a. Visualizador 3D. https://geoportal.lneg.pt/media/gminx4e2/visualizador3d.mp4 em https://geoportal.lneg.pt/ [Consultado 27 março 2024]

LNEG, 2023b. Visualizador de Observação da Terra. https://geoportal.lneg.pt/media/njne1uqy/visualizadorot.mp4 em https://geoportal.lneg.pt/ [Consultado 27 março 2024]

Okujeni, A., Kowalski, K., Lewińska, K.E., Schneidereit, S. Hostert, P., 2024. Multidecadal grassland fractional cover time series retrieval for Germany from the Landsat and Sentinel-2 archives. *Remote Sensing of Environment*, **302**: 113980.

PL, 2023. Products list in https://geoportal.lneg.pt/en/productslist/.

Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., Hipple, J. D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C. O., Kilic, A., Kovalskyy, V., Lee, Z. P., Lymburner, L., Masek, J. G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R. H., Zhu, Z., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, **145**: 154-172.

Szantoi, Z., Strobl, P., 2019. Copernicus Sentinel-2 Calibration and Validation. *European Journal of Remote Sensing,* **52**: 253. https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1582840.

Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., 2012. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sens. Environ.,* **122**: 2-10.

Wulder, M. A., Roy, D. P., Radeloff, V. C., Loveland, T. R., Anderson, M. C., Johnson, D. M., Healey, S., Zhu, Z., Scambos, T. A., Pahlevan, N., Hansen, M., Gorelick, N., Crawford, C. J., Masek, J. G., Hermosilla,T.,White, J. C., Belward, A. S., Schaaf, C., Woodcock, C. E., Huntington, J. L., Lymburner, Leo, Hostert, P., Gao, F., Lyapustin, A., Pekel, J. F., Strobl, P., Cook, B. D., 2022. Fifty years of Landsat science and impacts, *Remote Sens. Environ.,* **280**: 113195. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195.