

Deteção de Alterações na Ocupação do Solo – Perdas de Vegetação

Relatório com revisão bibliográfica dos exemplos de aplicação,
metodologias e produtos de alterações disponíveis

António Tomás Oruguela Sequeira

junho de 2024

Nota prévia

Esta revisão bibliográfica foi realizada no âmbito do contrato Nº 24IN10150012, enquadrado no contrato de cooperação Nº 3044, celebrado entre a Direção-Geral do Território (DGT) e o Instituto Superior de Agronomia (ISA). O presente documento corresponde ao Entregável E1.1 que integra a Tarefa 1, que tem a seguinte descrição: “Revisão bibliográfica das metodologias e produtos relevantes para as temáticas do contrato no 3044 DGT/ISA, nomeadamente no que se refere aos exemplos de aplicação de técnicas de deteção de alterações para identificação de perdas de vegetação a partir de imagens de satélite. Levantamento do estado da arte, e de aplicações análogas em outros países.”

Índice

1.	Introdução	4
2.	Métodos diretos de mapeamento de alterações	6
3.	Métodos indiretos de mapeamento de alterações	7
3.1.	Enquadramento da abordagem indireta	7
3.2.	Disponibilidade de mapas de ocupação em Portugal	8
3.3.	Desafios associados ao mapeamento indireto de alterações	9
4.	Conclusões	10
5.	Referências	11

1. Introdução

As informações sobre a ocupação do solo, e a sua evolução ao longo do tempo são fundamentais para a gestão e monitorização dos ecossistemas terrestres, permitindo avaliar o seu estado e compreender as suas tendências, melhorando assim a sua gestão (Hermosilla et al., 2018). A gestão das florestas de forma sustentável está cada vez mais dependente deste tipo de informação, tornando-se mais importante a criação de métodos confiáveis que consigam mapear a ocupação do solo nas florestas, monitorizar as suas tendências e detetar as alterações/perturbações que nestas ocorrem (Hirschmugl et al., 2017).

O Sistema de Monitorização de Ocupação do Solo (SMOS) (*SMOS*, sem data), da responsabilidade da DGT, tem como objetivo produzir e disponibilizar informação atualizada sobre o uso e ocupação do solo com base em tecnologias espaciais e Inteligência Artificial. O SMOS integra na seu catálogo produtos como a Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) (Alves et al., 2022) e a Carta de Ocupação do Solo conjuntural (COSc) (Costa, Benevides, Moreira, Moraes, et al., 2022). A COSc (inicialmente denominada COSSim) representou um avanço significativo na cartografia de ocupação do solo em Portugal, por ser o primeiro produto automático produzido em Portugal neste domínio. A sua disponibilização anual (ao contrário da COS que só é disponibilizada de 3 em 3 anos), permitiu que os utilizadores tivessem acesso a informações sobre ocupação do solo com uma maior frequência. Ainda assim, vários utilizadores do setor florestal têm demonstrado interesse em ter informações sobre a ocupação do solo, nomeadamente sobre a presença e alteração do coberto vegetal em áreas florestais, de uma forma mais regular.

No âmbito da *Agenda Transform* (*Agenda Transform*, sem data), que se destina à modernização digital do setor florestal em Portugal e que tem impacto direto sobre o SMOS, os mapas de alterações foram considerados de elevada importância como instrumentos de apoio para o setor florestal. A prevenção e combate aos incêndios rurais é um exemplo de um domínio onde o mapeamento de perdas de vegetação pode ter um impacto significativo. O desenvolvimento destes mapas no âmbito desta agenda prevê uma estreita relação com a COSc, de modo a que os dois produtos (COSc e Mapa de Alterações) se complementem e que a sua produção seja feita de forma integrada.

Os termos “perturbação” e “alteração” são utilizados para designar perdas de coberto vegetal ou de biomassa, originadas por causas naturais ou antrópicas, como incêndios florestais, danos causados por tempestades, stress hídrico, infestações de pragas ou surtos de doenças e operações de abate de árvores. No contexto desta revisão, o termo “alteração” foi o

escolhido para designar estas perdas de vegetação. O mapeamento de alterações a partir da utilização de deteção remota é por definição a identificação de diferenças entre imagens em momentos diferentes (Singh, 1989) e pode ser realizado seguindo metodologias distintas, das quais se destacam as seguintes: 1. A abordagem direta, que consiste na utilização direta de imagens multiespectrais a partir das quais se determinam as alterações, podendo ser baseada na análise de séries temporais de imagens ou apenas na comparação entre duas imagens; e 2. A abordagem indireta, que por sua vez, consiste na construção de mapas de ocupação do solo por métodos de classificação automática de imagens multiespectrais para diferentes datas e depois comparar os vários mapas e identificar as áreas em que a ocupação do solo se alterou.

Existem, neste momento, vários mapas de alterações produzidos a diversas escalas que cobrem o território português. Alguns desses mapas são produzidos à escala mundial, como por exemplo (Tyukavina et al., 2022), um atlas de áreas ardidas mas que inclui todas as alterações ao nível das florestas e que faz a diferenciação entre as que são causadas por fogos e as que se devem a outras causas. (Andela et al., 2019) e (Lizundia-Loiola et al., 2020), são outros dois atlas de áreas ardidas com cobertura global. Apesar de estarem disponíveis para o território de Portugal Continental, os níveis de exatidão e os objetivos desses produtos não são suficientes para satisfazer as necessidades dos utilizadores do setor florestal português, evidenciando a necessidade de ser desenvolvido, a nível nacional, um mapa de alterações de coberto vegetal que possa ser disponibilizado publicamente.

Este trabalho terá como principal foco a revisão dos principais métodos de construção de mapas de alterações no coberto vegetal com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de um produto nacional de alterações que seja disponibilizado no catálogo do SMOS. Nas anteriores colaborações entre a DGT e o ISA e no âmbito da Agenda *Transform*, a temática do mapeamento de alterações no coberto vegetal tem sido integrada com o mapeamento da ocupação do solo. Desta forma, nesta revisão, será dada uma especial relevância às abordagens metodológicas que se baseiam na integração entre mapas de ocupação do solo e mapas de alterações.

2. Métodos diretos de mapeamento de alterações

Dentro dos métodos diretos que se baseiam na aplicação de algoritmos diretamente sobre as imagens de satélite, é possível distinguir duas abordagens distintas. Uma clássica, que consiste na análise de imagem para imagem e que faz jus à definição de detecção de alterações, anteriormente referida, ou seja, a detecção de diferenças entre dois momentos. E uma outra abordagem, mais recente, que consiste na análise de séries temporais de imagens de satélite.

Nos últimos anos, principalmente após a abertura dos dados Landsat, a utilização de séries temporais de imagens tem ganho uma maior relevância. Aquando da realização da revisão feita por Zhu, 2017, a maioria dos artigos de revisão sobre o tema focavam-se apenas na detecção de alterações baseados em duas imagens. Contudo, após a abertura dos dados Landsat que passaram a ser disponibilizados gratuitamente em 2008, verificou-se que o número de publicações sobre a aplicação de séries temporais para detecção de mudanças, registou um aumento muito significativo, tal aumento pode ser verificado a partir de uma pesquisa bibliográfica no Scopus (Zhu, 2017).

O aumento da pesquisa pela abordagem baseada em séries temporais está relacionada com o facto de esta ser capaz de fornecer uma melhor compreensão da complexidade da dinâmica da superfície terrestre. Por oposição, a técnica bitemporal de análise de imagem para imagem, é mais simples de um ponto de vista matemático e não precisa de armazenar tantos dados, mas não consegue fornecer uma compreensão sobre as dinâmicas da ocupação do solo como as séries temporais. A abordagem bitemporal era muitas vezes aplicada devido à existência de um número reduzido de imagens de satélite disponíveis.

Dentro dos algoritmos que se baseiam em séries temporais de imagens de satélite, recentemente tem existido um foco em algoritmos que decompõe a série temporal em componentes de tendências e sazonalidade e que detetam mudanças abruptas entre as duas. São exemplos disso o BFAST (Verbesselt et al., 2012) e o CCDC (Zhu & Woodcock, 2014), ambos já testados em Portugal. O CCDC é o algoritmo utilizado na produção do Land Change Monitoring, Assessment, and Projection (LCMAP) (Xian et al., 2022), uma iniciativa destinada à produção de mapas anuais de ocupação do solo e de alterações para o território dos Estados Unidos da América com base em imagens Landsat. A iniciativa LCMAP conta com uma série temporal de 1985 até à atualidade e a exatidão do produto de ocupação do solo é estimada em 82,5% (+0,22%, desvio padrão) (Xian et al., 2022).

Em (Alves et al., 2023) o CCDC foi testado com recurso imagens Sentinel-2 na região Centro de Portugal com o objetivo de mapear as alterações e de avaliar a viabilidade de integrar este algoritmo na produção da COSc. Foi obtida uma exatidão de 72,34%. Em (Moraes et al., 2024), o CCDC foi utilizado com base em vários índices de vegetação para a mesma região. Os resultados apresentados demonstraram que a combinação do CCDC com imagens Sentinel-2 pode ser utilizada para monitorizar com sucesso as perdas de vegetação, especialmente à medida que a série temporal de imagens aumenta. Em (Costa et al., 2020), os autores testaram a aplicação do BFAST também na região Centro de Portugal com o objetivo de detetar cortes rasos e fogos em áreas florestais. Tendo conseguido gerar um mapa com uma exatidão de 85% e com erros de omissão e comissão de 30% e 19%, respetivamente.

No que concerne à avaliação do estado da vegetação em séries temporais longas, existem outros algoritmos que são aplicados após a realização de métodos de pré-processamento que reduzem o número de observações a apenas uma por ano. Alguns exemplos são o Vegetation Change Tracker (VCT) (Huang et al., 2010), o LandTrendr (Jin et al., 2017) e o VeDERT (Hughes et al., 2017). Estes métodos por norma são aplicados sobre imagens Landsat e não permitem detetar quebras intra-anuais, motivo pelo qual acabam por ser pouco úteis no contexto desta revisão.

3. Métodos indiretos de mapeamento de alterações

3.1. Enquadramento da abordagem indireta

Por métodos indiretos entende-se, métodos de deteção de perdas de vegetação que não se baseiam numa análise direta de imagens de satélite. Nomeadamente, a construção de mapas de ocupação do solo para momentos distintos, com base em algoritmos de classificação automática de imagens multiespectrais, e posterior comparação com a finalidade de encontrar áreas em que a ocupação se alterou. Esta hipótese, apesar de apresentar algumas limitações, pode produzir bons resultados se for aplicada sobre certas condições (Alonso et al., 2023). A existência de vários produtos de ocupação do solo produzidos de forma automática que cobrem o território português torna possível a aplicação deste tipo de abordagem.

Para além do desenvolvimento de mapas de alterações a partir de séries temporais de mapas de ocupação, existe ainda a hipótese de integrar a produção dos dois mapas. Apesar de

normalmente serem produzidos em separado, a integração da produção de mapas de ocupação e de mapas de alterações pode contribuir para a construção de uma série temporal mais consistente ao nível dos mapas de ocupação do solo (Gómez et al., 2016). Por exemplo, o conhecimento de quando, onde e que mudanças podem ocorrer ao nível da ocupação, pode permitir o desenvolvimento de algoritmos que melhorem a distribuição de classes nos mapas de ocupação, as suas transições e uma incorporação lógica de transições e expectativas de sucessão (Cai et al., 2014). Segundo (White et al., 2014), os mapas de ocupação produzidos com base nesta metodologia, providenciam importantes informações sobre as dinâmicas e as alterações ao nível da ocupação do solo.

Em (L. et al., 2023) os autores utilizam mapas de ocupação para gerar um produto de alterações para a Galiza. Para além das transições de classe entre mapas sucessivos, foram aplicadas regras baseadas no comportamento de índices de vegetação para determinar as áreas de alteração. Foram utilizadas duas abordagens, uma em que o índice usado foi o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Chuvieco et al., 2002), e outra com o Normalized Burn Ratio (NBR) (Hislop et al., 2018). Os autores concluíram que a metodologia que aplicaram se provou robusta e eficiente na deteção de alterações em áreas florestais.

3.2. Disponibilidade de mapas de ocupação em Portugal

Como já foi referido, existem para o território português, vários mapas de ocupação do solo produzidos de forma automática. O principal produto de referência neste domínio é a COSc, que é um produto anual de ocupação do solo, produzido com recurso a métodos de classificação automática de imagens Sentinel-2 e outros dados auxiliares. A sua produção teve início no ano de 2018 e está a cargo da DGT, tendo já sido publicadas 5 versões (2018, 2020, 2021, 2022 e 2023). A COSc é disponibilizada em formato matricial e tem uma unidade cartográfica mínima de 100 m², correspondente ao pixel de 10 x 10m do Sentinel-2. A sua classificação hierárquica possui 3 níveis e 15 classes no total (a de 2018 tem apenas 13 classes), que correspondem às ocupações mais significativas em Portugal, incluindo a distinção entre as principais espécies florestais presentes no território português. Ao contrário da COS, que é um produto de uso e ocupação estrutural, a COSc é apenas um produto de ocupação conjuntural, ou seja, tem em consideração o coberto no momento em que é produzida (ano agrícola), e não o uso do solo numa perspetiva temporal mais alargada.

A COSc representou um avanço significativo no que ao tempo de produção diz respeito e acabou por suprir algumas das necessidades de informação que não eram possíveis de obter

pela COS, que normalmente só é atualizada a cada 3 anos. Até ao momento, a COSc 2018 foi a única produzida “a partir do zero”, sendo considerada a COSc de referência. As restantes COSc já publicadas, são consideradas cartas intercalares e são feitas a partir de uma atualização sucessiva da de 2018. Essa atualização anual encontra-se descrita em (Costa, Benevides, Moreira, & Caetano, 2022), que remete para a atualização da COSc de 2018 para 2020. Esse processo de atualização já contempla módulos de deteção de alterações. Os métodos aplicados para detetar essas alterações são maioritariamente baseados em regras de conhecimento pericial a partir da análise de séries temporais de NDVI.

Para além da COSc também outros produtos de ocupação produzidos a nível europeu ou mundial cobrem o território nacional e, no caso de serem constituídas séries temporais desses produtos, podem ser utilizados como inputs para a produção de mapas de alterações. O Global Land Cover (Malinowski et al., 2020), e o ELC10 2018 (Venter & Sydenham, 2021) são dois exemplos de produtos que fazem o mapeamento da ocupação do solo para países europeus com base em dados sentinel-2 com uma resolução de 10 metros. A Agencia Espacial Europeia (ESA), a partir do programa *Copernicus*, disponibiliza produtos de ocupação do solo que cobrem o território nacional com base em dados Sentinel-2, neste caso o CLC+Backbone (CLC + Backbone, sem data) que abrange o Continente Europeu e o ESA WorldCover 2020 (ESA WorldCover, 2020), que tem cobertura global. A ESRI também disponibiliza um mapa global de ocupação do solo, o ESRI 2020 Land Cover (ESRI 2020 Land Cover, sem data).

(Fonte et al., 2024) fizeram uma revisão da exatidão de vários mapas de ocupação de solo obtidos de forma automática a partir de dados Sentinel-2. Os autores testaram a exatidão dos mapas referidos no parágrafo anterior e a COSc. Os mapas registaram valores de exatidão entre os 51% e os 72%, tendo o CLC + Backbone e a COSc registado as melhores exatidões e o ESRI 2020 Land Cover a pior. Os valores de exatidão obtidos neste estudo foram muito menores do que os referidos pelos produtores dos mapas.

3.3. Desafios associados ao mapeamento indireto de alterações

A principal limitação associada à utilização da abordagem indireta está relacionada com a possível replicação de erros presentes nos mapas de ocupação, que se vão refletir nos mapas de alterações (Fuller et al., 2003). Por exemplo, segundo os produtores dos vários mapas, a exatidão geral da COSc é estimada em 81,3%, a do ESA WorldCover 2020 é de 76,8% e a do ESRI 2020 Land Cover é 86%, valores que deixam margem para a ocorrência dos erros referidos no caso dos mapas serem utilizados para gerar mapas de alterações. Por esse motivo, não é

possível garantir que um dado pixel que mude de classe de um mapa para o outro seja necessariamente uma alteração, podendo ser apenas um erro de classificação num dos mapas (Alonso et al., 2023).

Uma comparação direta entre mapas pode levar a resultados inconsistentes (Alonso et al., 2023). No momento da análise é necessário assegurar vários aspetos. Em primeiro lugar, é necessário que os mapas de ocupação tenham sido obtidos a partir da mesma metodologia (Palahí et al., 2021). Em certos casos, mesmo que os mapas constituam uma série temporal é necessário verificar se existiram mudanças na forma como os mapas foram produzidos. A COSc, por exemplo, por ser um produto ainda em evolução sofreu mudanças na forma como foi produzida ao longo do tempo, o que pode levar a algumas inconsistências entre as várias versões se este facto não for tido em conta.

A verificação das mudanças de classe de forma a garantir que estão de acordo com os objetivos definidos e que são ecologicamente possíveis, é uma questão que deve ser tida em consideração e que pode ajudar a reduzir o impacto dos erros de classificação nos mapas de ocupação nos mapas de alterações.

4. Conclusões

Os mapas de alterações são de elevada importância como instrumentos de apoio para o sector florestal. Apesar de já existirem alguns produtos que cobrem o território de Portugal Continental, os níveis de exatidão e as características desses mapas não são suficientes para satisfazer as necessidades de alguns utilizadores, pelo que é necessário o desenvolvimento de um produto que integre a cartografia nacional.

A produção de mapas de alterações a partir de mapas de ocupação é uma abordagem válida e existem para o território Português, produtos de ocupação do solo com séries temporais consistentes, capazes de gerar mapas de alterações, com especial destaque para a COSc, um elemento da cartografia nacional já com 5 versões publicadas. Esta abordagem possui algumas limitações e para a obtenção de resultados satisfatórios é necessário ter em consideração vários fatores. A utilização de outros métodos complementares, para além da comparação entre mapas, pode contribuir para resultados mais consistentes.

5. Referências

- Agenda Transform.* (sem data). Obtido 20 de junho de 2024, de <https://transform.forestwise.pt/>
- Alonso, L., Rodríguez, A., Picos, J., & Armesto, J. (2023). Challenges in automatic forest change reporting through land cover mapping. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96(2), 155–169. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpac053>
- Alves, A., Marcelino, F., Gomes, E., Rocha, J., & Caetano, M. (2022). Spatiotemporal Land-Use Dynamics in Continental Portugal 1995–2018. *Sustainability*, 14(23), 15540. <https://doi.org/10.3390/su142315540>
- Alves, A., Moraes, D., Barbosa, B., Costa, H., Moreira, F., Benevides, P., Caetano, M., & Campagnolo, M. (2023). Exploring Spectral Data, Change Detection Information and Trajectories for Land Cover Monitoring over a Fire-Prone Area of Portugal: *Proceedings of the 9th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management*, 87–97. <https://doi.org/10.5220/0011993100003473>
- Andela, N., Morton, D. C., Giglio, L., Paugam, R., Chen, Y., Hantson, S., Van Der Werf, G. R., & Randerson, J. T. (2019). The Global Fire Atlas of individual fire size, duration, speed and direction. *Earth System Science Data*, 11(2), 529–552. <https://doi.org/10.5194/essd-11-529-2019>
- Cai, S., Liu, D., Sulla-Menashe, D., & Friedl, M. A. (2014). Enhancing MODIS land cover product with a spatial–temporal modeling a. *Remote Sensing of Environment*, 147, 243–255.
- Chuvieco, E., Martín, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103–5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>
- CLC + Backbone.* (sem data). Obtido 20 de junho de 2024, de <https://land.copernicus.eu/en/products/clc-backbone>

- Coppin, P. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *J. Remote Sens*, 1565–1596.
- Costa, H., Benevides, P. J., Moreira, F. D., & Caetano, M. R. (2022). Detection and classification of changes in agriculture, forest, and shrublands for land cover map updating in Portugal. Em C. M. Neale & A. Maltese (Eds.), *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXIV* (p. 19). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2636127>
- Costa, H., Benevides, P., Moreira, F. D., Moraes, D., & Caetano, M. (2022). Spatially Stratified and Multi-Stage Approach for National Land Cover Mapping Based on Sentinel-2 Data and Expert Knowledge. *Remote Sensing*, 14(8), 1865. <https://doi.org/10.3390/rs14081865>
- Costa, H., Giraldo, A., & Caetano, M. (2020). Exploring BFAST to detect forest changes in Portugal. Em C. Notarnicola, F. Bovenga, L. Bruzzone, F. Bovolo, J. A. Benediktsson, E. Santi, & N. Pierdicca (Eds.), *Image and Signal Processing for Remote Sensing XXVI* (p. 6). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2566669>
- ESA WorldCover. (2020). <https://worldcover2020.esa.int/downloader>
- ESRI 2020 Land Cover. (sem data). Obtido 22 de junho de 2024, de <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>
- Fonte, C. C., Duarte, D., Jesus, I., Costa, H., Benevides, P., Moreira, F., & Caetano, M. (2024). Accuracy Assessment and Comparison of National, European and Global Land Use Land Cover Maps at the National Scale—Case Study: Portugal. *Remote Sensing*, 16(9), 1504. <https://doi.org/10.3390/rs16091504>
- Fuller, R. M., Smith, G. M., & Devereux, B. J. (2003). The characterisation and measurement of land cover change through remote sensing: Problems in operational applications? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(3), 243–253. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(03\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(03)00004-7)

- Gómez, C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
- Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., Coops, N. C., & Hobart, G. W. (2018). Disturbance-Informed Annual Land Cover Classification Maps of Canada's Forested Ecosystems for a 29-Year Landsat Time Series. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 44(1), 67–87. <https://doi.org/10.1080/07038992.2018.1437719>
- Hirschmugl, M., Gallaun, H., Dees, M., Datta, P., Deutscher, J., Koutsias, N., & Schardt, M. (2017). Methods for Mapping Forest Disturbance and Degradation from Optical Earth Observation Data: A Review. *Current Forestry Reports*, 3(1), 32–45. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0047-2>
- Hislop, S., Jones, S., Soto-Berelov, M., Skidmore, A., Haywood, A., & Nguyen, T. (2018). Using Landsat Spectral Indices in Time-Series to Assess Wildfire Disturbance and Recovery. *Remote Sensing*, 10(3), 460. <https://doi.org/10.3390/rs10030460>
- Huang, C., Goward, S. N., Masek, J. G., Thomas, N., Zhu, Z., & Vogelmann, J. E. (2010). An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.017>
- Hughes, M., Kaylor, S., & Hayes, D. (2017). Patch-Based Forest Change Detection from Landsat Time Series. *Forests*, 8(5), 166. <https://doi.org/10.3390/f8050166>
- Jin, S., Yang, L., Zhu, Z., & Homer, C. (2017). A land cover change detection and classification protocol for updating Alaska NLCD 2001 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, 195, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.021>
- L., A., J., P., & J., A. (2023). Automatic forest change detection through a bi-annual time series of satellite imagery: Toward production of an integrated land cover map. *International*

Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 118, 103289.

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103289>

Lizundia-Loiola, J., Otón, G., Ramo, R., & Chuvieco, E. (2020). A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250 m from MODIS data.

Remote Sensing of Environment, 236, 111493.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111493>

Malinowski, R., Lewiński, S., Rybicki, M., Gromny, E., Jenerowicz, M., Krupiński, M., Nowakowski, A., Wojtkowski, C., Krupiński, M., Krätzschar, E., & Schauer, P. (2020).

Automated Production of a Land Cover/Use Map of Europe Based on Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, 12(21), 3523. <https://doi.org/10.3390/rs12213523>

Moraes, D., Barbosa, B., Costa, H., Moreira, F. D., Benevides, P., Caetano, M., & Campagnolo, M.

(2024). Continuous forest loss monitoring in a dynamic landscape of Central Portugal with Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 130, 103913. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103913>

Palahí, M., Valbuena, R., Senf, C., Acil, N., Pugh, T. A. M., Sadler, J., Seidl, R., Potapov, P.,

Gardiner, B., Hetemäki, L., Chirici, G., Francini, S., Hlásny, T., Lerink, B. J. W., Olsson, H., González Olabarria, J. R., Ascoli, D., Asikainen, A., Bauhus, J., ... Nabuurs, G.-J. (2021). Concerns about reported harvests in European forests. *Nature*, 592(7856), E15–E17.

<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03292-x>

Singh, A. (1989). Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 989–1003.

<https://doi.org/10.1080/01431168908903939>

SMOS. (sem data). Obtido 20 de junho de 2024, de <https://smos.dgterritorio.gov.pt/>

Tyukavina, A., Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A. H., Stehman, S. V., Turubanova, S., Parker,

D., Zalles, V., Lima, A., Kommareddy, I., Song, X.-P., Wang, L., & Harris, N. (2022). Global

- Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 825190. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>
- Venter, Z. S., & Sydenham, M. A. K. (2021). Continental-Scale Land Cover Mapping at 10 m Resolution Over Europe (ELC10). *Remote Sensing*, 13(12), 2301. <https://doi.org/10.3390/rs13122301>
- Verbesselt, J., Zeileis, A., & Herold, M. (2012). *Near Real-Time Disturbance Detection Using Satellite Image Time Series: Drought Detection in Somalia*.
- White, J. C., Wulder, M. A., Hobart, G. W., Luther, J. E., Hermosilla, T., Griffiths, P., Coops, N. C., Hall, R. J., Hostert, P., Dyk, A., & Guindon, L. (2014). Pixel-Based Image Compositing for Large-Area Dense Time Series Applications and Science. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(3), 192–212. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.945827>
- Xian, G. Z., Smith, K., Wellington, D., Horton, J., Zhou, Q., Li, C., Auch, R., Brown, J. F., Zhu, Z., & Reker, R. R. (2022). Implementation of the CCDC algorithm to produce the LCMAP Collection 1.0 annual land surface change product. *Earth System Science Data*, 14(1), 143–162. <https://doi.org/10.5194/essd-14-143-2022>
- Zhu, Z. (2017). Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 370–384.
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152–171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>