



**Interreg**  
Espanña - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



UNIÓN EUROPEA



Centro Ibérico para la  
Investigación y Lucha contra  
Incendios Forestales



**LUCHA CONTRA EL  
CAMBIO CLIMÁTICO**

## **Utilização de dados de satélite para determinar o estado da superfície em modelos de propagação**



**Ação: "4.1"**  
**Programa: "4.1.2"**  
**Projeto: "4.1.2.7"**  
**Entregável: "H.1.2.7"**

**Relatório Técnico**

**Universidade de Évora**

**Autores:** Vanda Salgueiro  
Maria João Costa

## ÍNDICE

1. Introdução e objetivo .....	3
2. Casos de estudo .....	4
3. Dados e metodologia .....	5
3.1 Determinação do combustível morto .....	6
3.2 Determinação do combustível vivo.....	6
4. Resultados e discussão .....	9
5. Considerações finais .....	12
6. Referências.....	13
Anexos .....	14

## **1. Introdução e objetivo**

O estado da superfície florestal ao nível dos combustíveis é um dos fatores determinantes na propagação de incêndios florestais. As características dos combustíveis florestais (como por exemplo a distribuição, carga, humidade, dimensão e % de combustível morto) condicionam a propagação e intensidade do fogo. A modelação da propagação de incêndios florestais é utilizada para compreender e prever o possível comportamento do fogo. Esta é, no entanto, uma questão complexa, pois acopla numerosos processos físicos numa vasta gama de escalas espaciais (da escala da vegetação local à dinâmica atmosférica de mesoescala). Os modelos de propagação de incêndios como o ForeFire/Meso-NH consideram os principais fatores que influenciam o comportamento dos incêndios florestais tendo em conta o declive do terreno, as condições atmosféricas (velocidade do vento, densidade do ar e temperatura), a caracterização espacial dos combustíveis (por exemplo carga e conteúdo de humidade) e as propriedades de combustão (por exemplo, a temperatura de ignição e a capacidade calorífica) (Filippi et al., 2013). Deste modo, é crucial dar como parâmetros de entrada dos modelos valores para as diferentes variáveis consideradas pelos fatores que influenciam o comportamento dos incêndios para que a simulação da propagação de um determinado incêndio florestal represente a realidade o melhor possível. Uma das grandes incertezas neste tipo de modelos, que limita a capacidade de prever incêndios florestais em grande escala, é o conhecimento preciso da distribuição espacial de combustíveis. Os combustíveis são definidos em termos das características da biomassa viva e morta que contribuem para a propagação, intensidade e severidade dos incêndios florestais, como por exemplo a carga que se exprime como peso/massa por unidade de área.

Este trabalho tem como objetivo estabelecer uma metodologia que permita estimar o estado da superfície, em termos de carga de combustível morto e vivo, para usar em modelos de propagação de incêndios florestais. O estado da superfície será estimado a partir de dados de satélite que além de permitirem determinar a carga de combustíveis também permitem avaliar a sua distribuição espacial horizontal.

Na secção 2 apresentam-se os casos de estudo considerados, na secção 3 apresentam-se os dados e descreve-se a metodologia proposta para a determinação do

estado da superfície. Os resultados da aplicação da metodologia proposta aos casos de estudo dos incêndios de Pedrógão Grande em 2017 e de Monchique em 2018 são apresentados na secção 4. Na secção 5 resumem-se as considerações finais.

## **2. Casos de estudo**

Foram selecionados os mesmos casos de estudo utilizados no Entregável D.1.1.5 (Programa: "4.1.1", Projeto: "4.1.1.5"), que correspondem a dois grandes incêndios florestais ocorridos em Portugal continental: o incêndio de Pedrógão Grande que ocorreu em junho de 2017 com uma área ardida de 45789 hectares (ICNF, 2017) e o incêndio de Monchique que ocorreu em agosto de 2018 com uma área ardida de 26763 hectares (ICNF, 2018).

O incêndio de Pedrógão Grande deflagrou a 17 de junho de 2017 no concelho de Pedrógão Grande (distrito de Leiria), em Portugal, tendo alastrado aos concelhos de Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Ansião, Sertã, Pampilhosa da Serra e Penela (Figura 1). No mesmo dia deflagrou outro incêndio de grandes proporções no concelho de Góis, distrito de Coimbra, que acabou posteriormente por alastrar aos concelhos de Pampilhosa da Serra e de Arganil. No dia 20 de junho de 2017 uma das frentes de fogo do incêndio de Pedrógão Grande juntou-se ao incêndio de Góis, formando uma área ardida contígua. O incêndio foi dado como extinto a 24 de junho de 2017. Este constituiu o maior desastre em termos de incêndios florestais de sempre em Portugal, tendo sido também o mais mortífero da história do país e o 11º mais mortífero a nível mundial desde 1900 ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio\\_florestal\\_de\\_Pedrógão\\_Grande\\_em\\_2017](https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio_florestal_de_Pedrógão_Grande_em_2017); último acesso: 19/11/2020).

O incêndio de Monchique deflagrou na serra de Monchique, na região do Algarve (distrito de Faro) em Portugal. O incêndio teve início na localidade de Perna da Negra, no concelho de Monchique, tendo posteriormente alastrado para parte dos concelhos de Silves e Portimão (Figura 1). O incêndio teve início por volta das 13 horas no dia 3 de agosto de 2018 e foi parcialmente dominado na manhã do dia 10 de agosto ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio\\_de\\_Monchique\\_de\\_2018](https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio_de_Monchique_de_2018); último acesso: 19/11/2020).

### **3. Dados e metodologia**

O método proposto para determinar a carga de combustível que caracteriza a superfície é baseado em indicadores da vegetação que representam os combustíveis morto e vivo e na sua relação com o produto AGB (do inglês Above Ground Biomass) (Santoro et al., 2019) que representa a biomassa da floresta acima do solo, isto é, a massa expressa em peso seco das partes lenhosas (tronco, casca, galhos e ramos) de todas as árvores vivas excluindo tocos e raízes. O produto AGB ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) foi obtido da base de dados CEDA (The Natural Environment Research Council's Data Repository for Atmospheric Science and Earth Observation em <https://catalogue.ceda.ac.uk>; último acesso em 15/12/2020) e é representativo do ano de 2017 com resolução espacial de 100 metros. O produto baseia-se na utilização de dados de satélite ALOS-2 PALSAR-2 e Sentinel-1 C-SAR.

O indicador da vegetação DMP, expresso em massa de matéria seca por unidade de área e de tempo ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), (do inglês Dry Matter Productivity) (Swinnen et al., 2019) representa a taxa de crescimento da biomassa seca da vegetação e foi utilizado para representar a vegetação seca. Os dados, com resolução temporal de 10 dias e resolução espacial de 300 metros, foram obtidos do Copernicus Global Land Service (<https://land.copernicus.eu/global/index.html>; último acesso em 15/12/2020). Este produto é obtido a partir de imagens do satélite PROBA-V combinados com dados meteorológicos do Centro Europeu de Previsão do Tempo (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

A vegetação viva foi representada através da utilização do NDVI (do inglês Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse et al., 1974) que é um índice adimensional indicativo da atividade fotossintética da vegetação. Tal como os dados de DMP, os dados de NDVI são obtidos de imagens do satélite PROBA-V e têm respetivamente resolução temporal e espacial de 10 dias e de 300 metros. Os dados de NDVI também foram adquiridos da base de dados do Copernicus Global Land Service (Swinnen et al., 2020). Ambos os conjuntos de dados, de DMP e de NDVI, correspondem às séries temporais de 2017 e de 2018, uma vez que foram considerados os casos de estudo dos incêndios florestais de Pedrógão Grande e de Monchique ocorridos respetivamente a 17 de junho de 2017 e a 3

de agosto de 2018 para a caracterização da superfície.

Para determinar a carga de combustíveis assumiu-se que o AGB num determinado pixel é dado pela soma do combustível vivo e do combustível morto existentes nesse mesmo pixel.

$$AGB(t) = \text{Combustível morto}(t) + \text{Combustível vivo}(t) \quad (1)$$

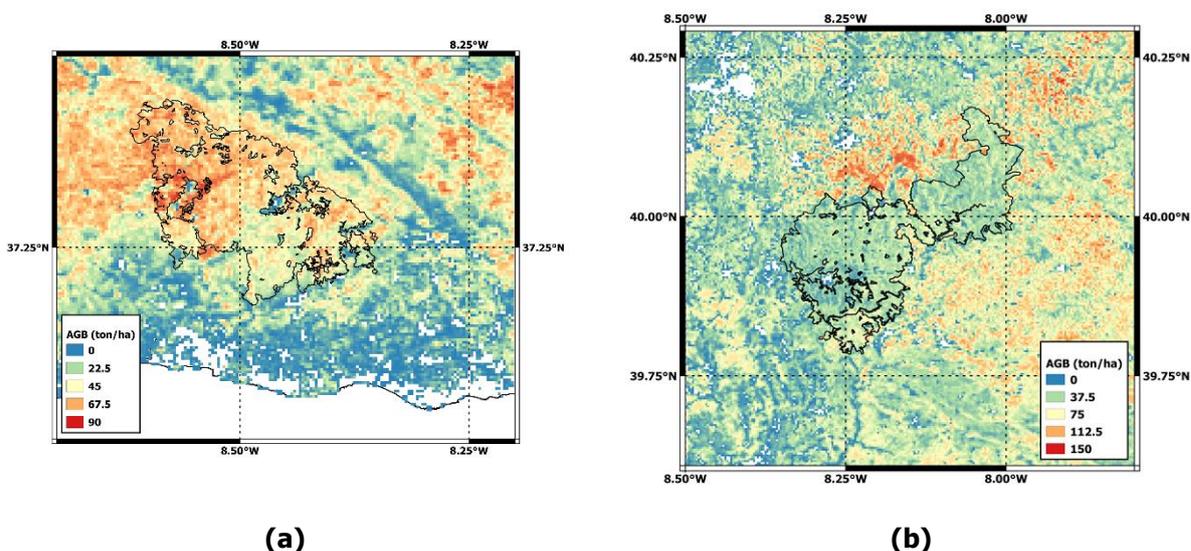
### 3.1 Determinação do combustível morto

O combustível morto é estimado a partir do indicador DMP. Assumiu-se que para cada pixel o combustível morto é dado pela integral de DMP nos 10 dias que o DMP representa. No dia em que começa o incêndio, o combustível morto total existente num determinado pixel é dado pelo somatório do combustível morto até à véspera do incêndio (equação 2). No caso de o incêndio ocorrer numa data intermédia do número dias correspondentes aos dados de DMP então o integral de DMP é calculada entre t igual a 1 e t igual à diferença do número que dias entre a data do incêndio e a data de DMP. Note-se que devido ao facto de o DMP representar uma taxa de crescimento de matéria seca considerou-se que o combustível morto é zero para d=1 (Inverno).

$$\text{Combustível morto} = \sum_{d=1}^{d=\text{véspera incêndio}} \int_{t=1}^{t=10} DMP(t) dt \quad (2)$$

### 3.2 Determinação do combustível vivo

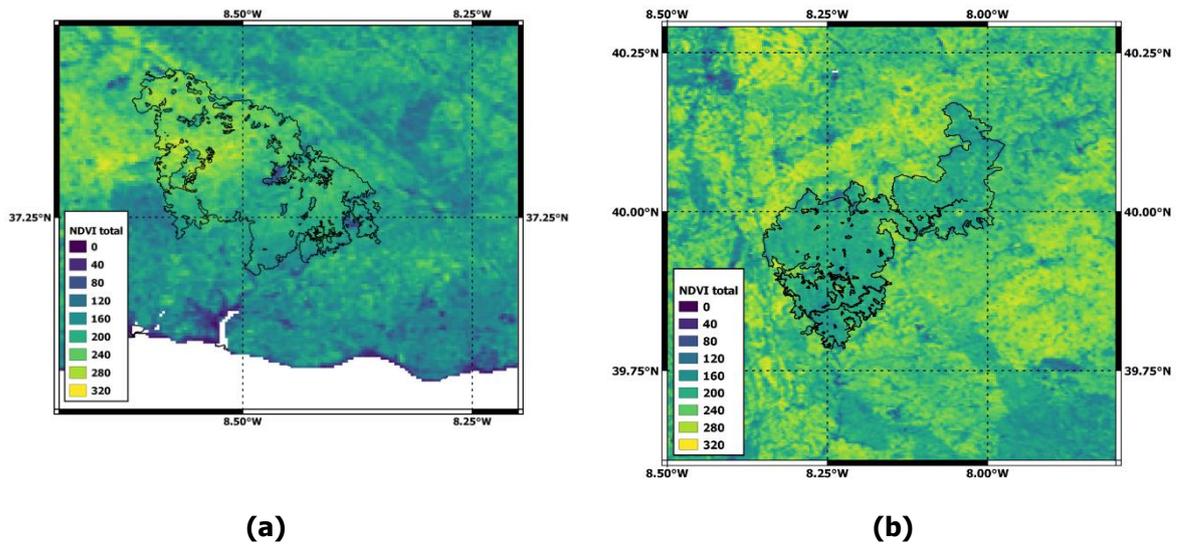
O combustível vivo é dado pela diferença entre o AGB e o combustível morto seguindo a equação 1. Uma vez que os dados de AGB disponíveis correspondem apenas a um valor representativo da biomassa total em cada pixel no ano 2017 (Figura 1) não é possível aplicar diretamente a equação 1. Deste modo, foi seguida a metodologia descrita a seguir.



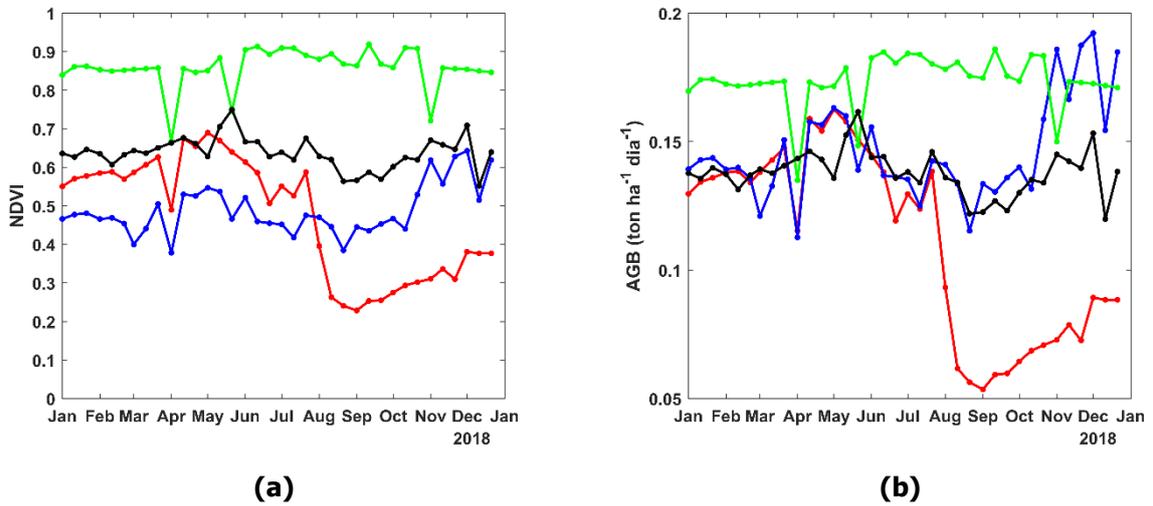
**Figura 1.** AGB (300 m de resolução espacial) em 2017 nas regiões de Monchique (a) e de Pedrógão Grande (b). As áreas delimitadas a preto representam as áreas ardidas.

- 1) Assumiu-se que a evolução temporal de AGB ao longo do ano segue a evolução temporal de NDVI e que a relação entre AGB e o NDVI total anual relativo a 2017 é traduzida por uma constante  $k$  definida pela razão entre o NDVI total anual e AGB (figura 1). O AGB é reamostrado à resolução espacial do NDVI (300 metros). O NDVI total anual (figura 2) é dado pelo somatório do integral do NDVI nos 10 dias que este produto NDVI representa. A constante  $k$  é então obtida através da razão entre os dados representados na figura 2 e os dados representados na figura 1 para cada pixel, em ambos os casos de estudo.
  
- 2) Assumiu-se que a constante  $k$  obtida para cada pixel não sofre variação ao longo do tempo, isto é,  $k=k(t)$ . Deste modo,  $AGB(t)$  é obtido a partir de  $NDVI(t)$  através da relação com  $k$  de acordo com a equação 3. As figuras 3 e 4 mostram a variação temporal de  $NDVI(t)$  e do correspondente  $AGB(t)$  para pixéis selecionados aleatoriamente nas regiões de Monchique (figura 3) e de Pedrógão Grande (figura 4). Note-se que nas áreas ardidas a constante  $k$  (no caso de Pedrógão Grande) e  $AGB(t)$  (figura 4 (b)) são afetadas pelo sinal dos incêndios ocorridos em 2017 e 2018 devido à diminuição da biomassa e do NDVI na área ardida (figuras 1(b) e 2(b)).

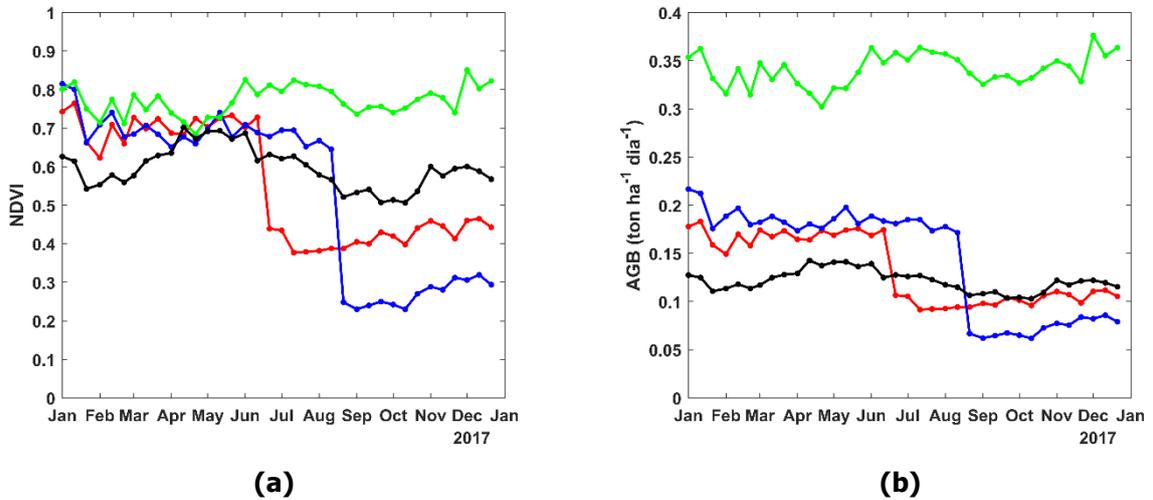
$$AGB(t) = \frac{1}{k}NDVI(t) \quad (3)$$



**Figura 2.** NDVI total anual em 2017 (a) na área de Monchique e (b) na área de Pedrógão Grande.



**Figura 3.** Série temporal de (a) NDVI e de (b) AGB derivado da relação com o NDVI em 4 pixéis aleatórios na região de Monchique incluindo a área ardida em 2018 (mapa da figura 1(a)).



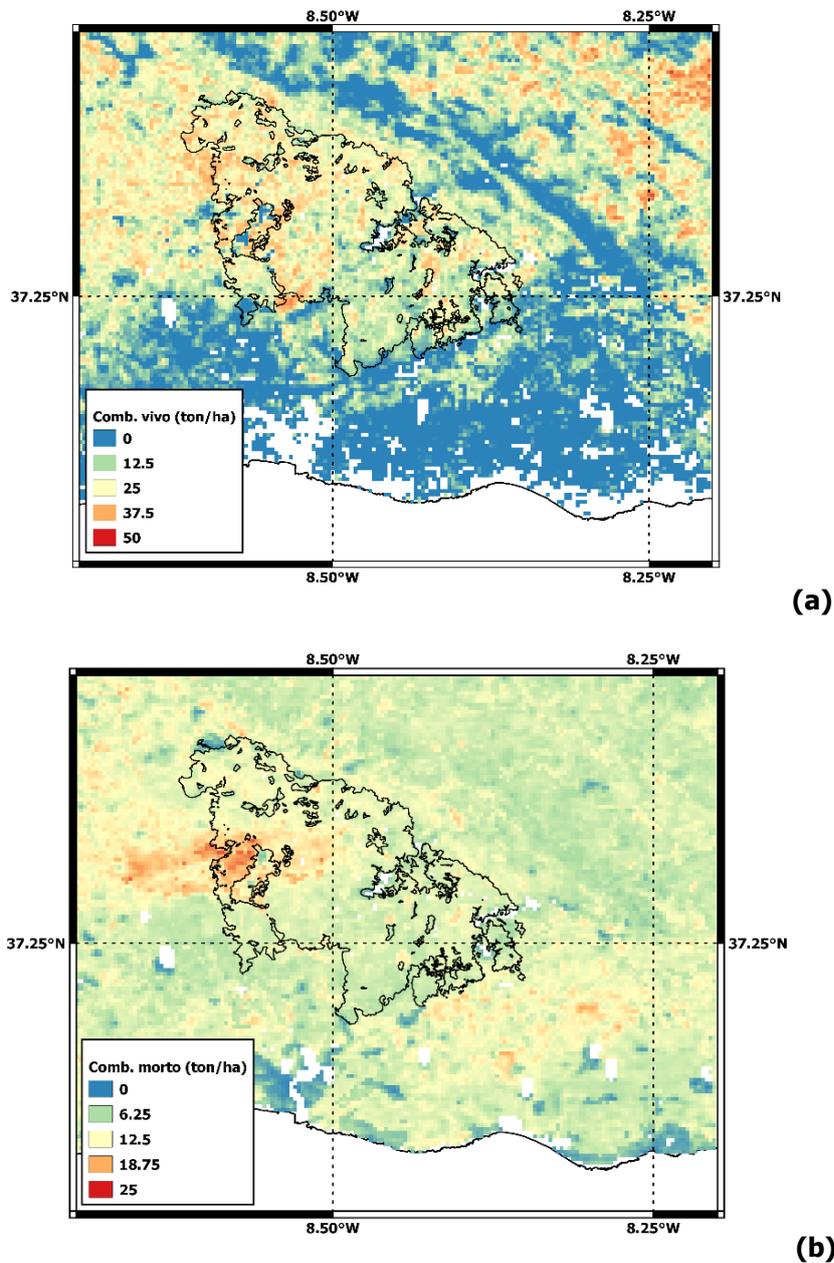
**Figura 4.** Série temporal de (a) NDVI e de (b) AGB derivado da relação com o NDVI em 4 pixéis aleatórios na região de Pedrógão Grande incluindo a área ardida em 2017 (mapa da figura 1(b)).

3) A partir de  $AGB(t)$  obtido determina-se o combustível vivo( $t$ ) através da diferença entre  $AGB(t)$  e o Combustível morto( $t$ ) (equação 1). À semelhança do método de cálculo usado para o combustível morto no dia em que começa o incêndio, o combustível vivo total existente num determinado pixel é dado pelo somatório da integral do combustível vivo nos 10 dias que representa até à véspera do incêndio (equação 4). Os limites de integração são iguais aos limites de integração de DMP caso o incêndio ocorra numa data intermédia à data correspondente ao combustível vivo ( $t$ ). Note-se que consideramos que em  $d=1$ , o combustível vivo é dado apenas por AGB pois considerou-se que inicialmente a matéria seca seria zero.

$$Combustível\ vivo = \sum_{d=1}^{d=vésp.incêndio} \int_{t=1}^{t=10} Combustível\ vivo(t) dt \quad (4)$$

#### 4. Resultados e discussão

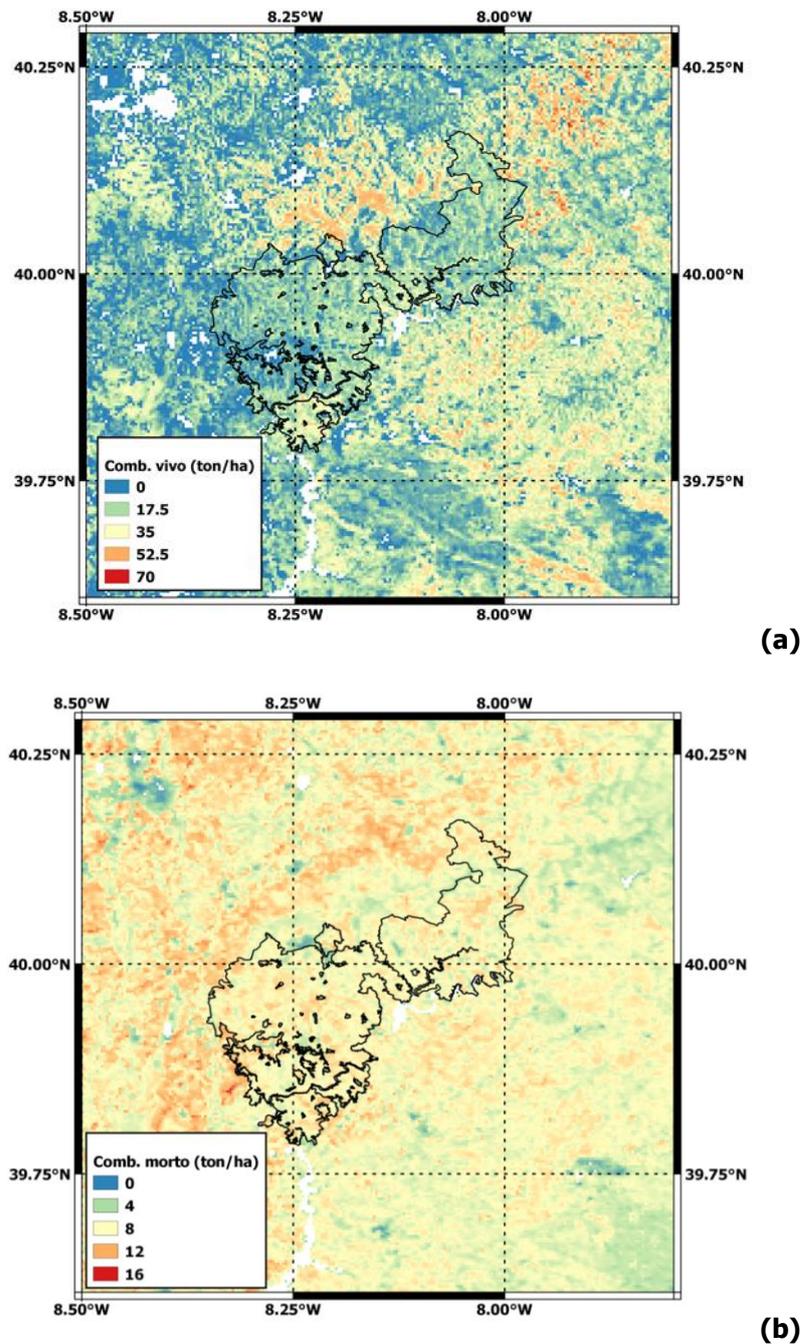
Nas figuras 6 e 7 estão representados os combustíveis mortos e vivos totais, obtidos com a metodologia descrita na secção anterior, nas áreas de Monchique (figura 6) e de Pedrógão Grande (figura 7) nas vésperas dos incêndios que decorreram respetivamente de 3 a 10 de agosto de 2018 e de 17 a 24 de junho de 2017.



**Figura 3.** Combustível vivo (a) e morto (b) total em Monchique na véspera do incêndio que ocorreu a 3 de agosto de 2018, cuja área ardida está delimitada a preto em (a) e em (b).

A distribuição espacial da carga de combustíveis mostra que na região de Monchique a quantidade de combustível morto e vivo é em geral superior na área ardida do que na área circundante. No caso de Pedrógão Grande observa-se a situação inversa no caso do combustível vivo, isto é, em geral a carga de combustível é inferior na área ardida relativamente à área circundante. Isto deve-se a uma limitação nos dados usados para a

obtenção dos combustíveis. Uma vez que só há dados de AGB disponíveis para o ano de 2017 e como o incêndio de Pedrógão Grande decorreu em 2017 tanto o AGB como o NDVI captam o sinal do incêndio. Isto traduz-se numa diminuição do AGB e do NDVI total anual na área ardida o que afeta o valor da constante  $k$ , de  $AGB(t)$  e do combustível vivo.



**Figura 4.** Combustível vivo (a) e morto (b) total em Pedrógão Grande na véspera do incêndio que ocorreu a 17 de junho de 2017, cuja área ardida está delimitada a preto em (a) e em (b).

## **5. Considerações finais**

Neste trabalho foi proposta uma metodologia que permite estimar a carga de combustíveis florestais vivo e morto. Esta metodologia relaciona a biomassa acima do solo AGB e os indicadores DMP para a vegetação morta e NDVI para a vegetação viva. A metodologia foi aplicada aos incêndios de Pedrógão Grande em 2017 e Monchique em 2018. A principal limitação da metodologia proposta está relacionada com os dados de biomassa utilizados, os quais apenas estão disponíveis de momento para o ano de 2017, o que interfere com os resultados de incêndios que ocorram no mesmo ano, já que o AGB é afetado pela ocorrência do incêndio alterando os valores na área. Deste modo, a estimativa da carga de combustível vivo na área ardida em Pedrógão Grande é subestimada. Futuras aplicações devem utilizar, se possível, valores do AGB do ano anterior à ocorrência do fogo na zona de estudo.

## 6. Referências

Filippi, J.-B., Pialat, X., Clements, C.B., 2013, Assessment of ForeFire/Meso-NH for wildland fire/atmosphere couplet simulation of the FireFlux experiment, Proceedings of the Combustion Institute, 34, 2633–2640.

ICNF. 10.º Relatório Provisório de Incêndios Florestais-2017, 01 de janeiro a 31 de outubro. Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal. RIF10/2017. 1-19 (2017).

ICNF. Relatório Provisório de Incêndios Rurais-2018, 01 de janeiro a 15 de setembro. Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal. 6ºRIR/DDFVAP/2018. 1-12 (2018).

Santoro, M., Cartus, O., Lucas, R., Quegan, S., CCI Biomass Algorithm Theoretical Basis Document Year 1 Version 1.0, 1-79, 2019.

Swinnen, E., Hoolst, V.R., Algorithm Theoretical Basis Document: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) collection 300m version 2 Issue I1.00, 1–31, 2020.

Swinnen, E., Hoolst, V.R., Algorithm Theoretical Basis Document: Dry Matter Productivity (DMP) and Gross Dry Matter Productivity (GDMP) collection 300m version 1 Issue I1.12, 1–52, 2019.

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp, December 10–15 1974, Greenbelt, MD, 3:301–317, NASA, Washington, D.C.

## Anexos

**Tabela A1.** Resumo dos produtos usados para determinar o estado da superfície florestal em modelos de propagação.

Produto	Descrição	Unidades	Sensor/satélite	Resolução temporal	Resolução espacial
AGB	Biomassa da floresta acima do solo (AGB: Above Ground Biomass)	ton/ha	Sentinel-1 C-SAR, ALOS-2 PALSAR-2 (L-band)	Anual	100 m
DMP	Produtividade de matéria seca (DMP: Dry Matter Productivity)	ton/ha/dia	PROBA-V	10 dias	300 m
NDVI	Índice de vegetação normalizado (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)	adimensional	Sentinel-3 OLCI	10 dias	300 m