



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Avaliação do potencial das imagens dos Satélites Sentinel 2
na monitorização do cumprimento de alguns dos requisitos
da PAC**

Nuno José Cardoso Saavedra

Orientador(es) | José Rafael Marques da Silva

Évora 2020



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Avaliação do potencial das imagens dos Satélites Sentinel 2
na monitorização do cumprimento de alguns dos requisitos
da PAC**

Nuno José Cardoso Saavedra

Orientador(es) | José Rafael Marques da Silva

Évora 2020



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

- Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)
- Vogal | Adélia Maria Oliveira de Sousa (Universidade de Évora)
- Vogal-orientador | José Rafael Marques da Silva (Universidade de Évora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para o meu regresso à vida académica, que me motivaram e que, direta ou indiretamente, me ajudaram na conclusão desta dissertação.

Ao meu orientador, Professor Doutor José Rafael, agradeço a confiança que depositou no meu trabalho, a sua orientação, a sua disponibilidade, os seus ensinamentos e o entusiasmo que sempre me transmitiu.

À AGROINSIDER pelo apoio e fornecimento dos dados, sem os quais não teria sido possível desenvolver esta dissertação. Um enorme agradecimento ao Luís Paixão, ao Mariano Terron e ao Francisco Marques.

Ao Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, em especial ao Manuel Simões, à Ana Marques e ao Hugo Leal, pela sua disponibilidade e pelos seus valiosos comentários. Os dados reais fornecidos pelo IFAP foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Finalmente, à minha família e em especial à minha mulher, Sílvia Brandão, pelo seu inquestionável e permanente apoio, sem o qual eu não teria conseguido finalizar este estudo.

RESUMO

A Política Agrícola Comum (PAC) é um sistema de ajudas e programas de apoio aos agricultores da União Europeia (UE). Para receber apoios no âmbito das medidas da PAC, cada agricultor deve, anualmente, submeter à autoridade nacional competente, em Portugal o Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. (IFAP), um formulário com os dados referentes à sua exploração. Posteriormente estes dados são sujeitos a ações de controlo administrativo e em alguns casos a inspeções físicas no terreno.

De acordo com as atuais regras da PAC, cada estado membro deve, segundo uma análise de risco, realizar uma série de inspeções físicas no terreno de modo a garantir que os critérios de elegibilidade e os compromissos assumidos são cumpridos.

Com o objetivo de simplificar e modernizar a Política Agrícola Comum, a Comissão Europeia, em 22 de maio de 2018, adotou novas regras que permitem o uso dos dados dos satélites Sentinel do programa Copernicus, como evidência principal na verificação do cumprimento de alguns dos requisitos das ajudas da PAC. Pretende-se que as evidências digitais obtidas remotamente reduzam significativamente o número de inspeções físicas no terreno, diminuindo os custos e a burocracia associada ao processo de controlo.

Neste estudo é proposta uma abordagem que pretende avaliar o potencial dos dados das imagens do satélite Sentinel 2 para confirmar, com recurso a um índice de vegetação simples (NDVI, “*Normalised Difference Vegetation Index*”), a presença da cultura de milho numa amostra de parcelas fornecidas pelo IFAP. A confirmação no terreno da presença de um determinado tipo de cultura, é fundamental para concluir da elegibilidade dessas áreas a determinada ajuda ou regime de apoio.

Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação de uma metodologia hierárquica, priorizando numa primeira abordagem a utilização de um índice simples e fácil de aplicar (NDVI), pode permitir a confirmação da cultura presente e desta forma excluir com relativa segurança uma percentagem significativa de parcelas da amostra de controlo, reduzindo consideravelmente o número de inspeções físicas no terreno.

Palavras-chave: Deteção remota; PAC; Sentinel 2; Milho; NDVI

EVALUATION OF THE SENTINEL 2 SATELLITE IMAGE POTENTIAL IN MONITORING COMPLIANCE WITH SOME OF THE CAP REQUIREMENTS.

ABSTRACT

The Common Agricultural Policy (CAP) is a system of subsidies and support programs for farmers in the European Union (EU). In order to receive support under the CAP measures, each farmer must submit annually its declaration to the competent national authority, in Portugal the Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. (IFAP). Subsequently these declarations are subject to administrative control actions and in some cases to field inspections.

Under current CAP rules, each member state must, according to a risk analysis, conduct a series of physical checks on farms to ensure that the eligibility criteria and commitments are met.

In order to simplify and modernize the Common Agricultural Policy, the European Commission on 22 May 2018 adopted new rules allowing the use of the data from the EU's Copernicus Sentinel satellites, as main evidence when checking farmers' fulfilment of requirements under the CAP payments. It is intended that evidences obtained by digital means will significantly reduce the number of field inspections, reducing costs and bureaucracy associated with the control process.

This study proposes an approach that aims to assess the potential of Sentinel 2 satellite image data to confirm, using a standardized satellite index (NDVI), the presence of maize crop in a sample of parcels provided by IFAP. Confirmation on the field of the presence of a particular crop type is crucial for concluding the eligibility of these areas for a particular subsidy payment scheme.

The results show that the application of a hierarchical methodology, prioritizing in the first approach the use of a simple and easy to apply index (NDVI), can allow the field confirmation of the crop type, and thus relatively safely exclude a significant percentage of plots of the sample control, considerably reducing the number of physical field inspections.

Keywords: Remote Sensing; CAP; Sentinel 2; Maize; NDVI

ÍNDICE

| | |
|---|------------|
| AGRADECIMENTOS | I |
| RESUMO | II |
| ABSTRACT | III |
| LISTA DE SIGLAS | X |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 1 |
| 1.2. Objetivos | 3 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 2.1. Detecção Remota (DR) | 4 |
| 2.1.1. Radiação eletromagnética (REM) | 4 |
| 2.1.2. Espectro eletromagnético | 5 |
| 2.1.3. Interferências atmosféricas | 6 |
| 2.1.4. Interação da REM com a superfície terrestre | 7 |
| 2.1.5. Comportamento espectral da vegetação | 8 |
| 2.1.6. Sensores óticos multiespectrais | 9 |
| 2.1.7. Índice espectral de vegetação e NDVI | 9 |
| 2.1.8. Missão Sentinel 2 | 10 |
| 2.2. A Política Agrícola Comum (PAC) | 12 |
| 2.2.1. Controlo das ajudas no âmbito da Política Agrícola Comum | 12 |
| 2.2.2. Controlo por monitorização | 14 |
| 2.2.3. A deteção remota e a simplificação da PAC pós 2020 | 16 |
| 2.2.4. A deteção remota e a monitorização agrícola | 17 |

| | |
|---|-----------|
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 19 |
| 3.1. Descrição da área de estudo e dados utilizados | 19 |
| 3.1.1. Área de estudo | 19 |
| 3.1.2. Dados das parcelas agrícolas e ocupações do solo | 20 |
| 3.1.3. Dados de detecção remota | 21 |
| 3.2. Metodologia | 22 |
| 3.2.1. Tratamento da informação vetorial | 23 |
| 3.2.2. Processamento das imagens e determinação dos valores do NDVI | 23 |
| 3.2.3. Análise estatística dos dados | 28 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 30 |
| 5.1. Variação temporal do NDVI | 30 |
| 5.2. Variação espacial do NDVI | 37 |
| 5.3. Validação das parcelas | 42 |
| 6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS | 47 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 49 |
| ANEXOS | 55 |

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

| | |
|---|---|
| Equação 1 – Equação referente à relação entre energia incidente (I_λ), energia refletida (R_λ), energia absorvida (A_λ) e energia transmitida (T_λ) | 7 |
| Equação 2 – Equação referente ao cálculo do NDVI, em que IVP - Infravermelho Próximo, V - Vermelho | 9 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações ortogonais dos campos magnético (M) e elétrico (E) (Meneses & Almeida, 2012) | 5 |
| Figura 2. Espectro eletromagnético (adaptado de Lillesand <i>et al.</i> , 2007). | 5 |
| Figura 3. Interação da REM com a superfície terrestre | 7 |
| Figura 4. Refletância ideal da folha de uma planta saudável (adaptado de Bakker <i>et al.</i> , 2001) | 8 |
| Figura 5. Sentinel 2A (fonte: Agência Espacial Europeia) | 10 |
| Figura 6. Fluxograma da metodologia utilizada | 22 |
| Figura 7. Estádios fenológicos do milho (adaptado de Hanway, 1966). | 26 |
| Figura 8. Valores médios do NDVI nos diferentes estádios fenológicos do milho (adaptado de Raun <i>et al.</i> , 2005). | 27 |
| Figura 9. Evolução dos valores do NDVI em cada uma das datas selecionadas. | 31 |
| Os dados são: NDVI mínimo, NDVI médio e NDVI máximo | 31 |
| Figura 10. Evolução dos valores do NDVI médio, por escalão e por data, do conjunto de parcelas | 33 |
| Figura 11. Histograma do índice de vegetação (NDVI) relativo aos valores de NDVI máximo do conjunto de parcelas | 34 |
| Figura 12. Histogramas do índice de vegetação (NDVI) em cada uma das datas selecionadas (3, 8, 13, 18, 23, 26, 28 e 31 de agosto de 2018) | 35 |
| Figura 13. Mapas de distribuição, por data, das parcelas na área de estudo e respectivos índices de vegetação (NDVI) | 36 |
| Figura 14. Gráfico com a dispersão dos valores do NDVI máximo em função da longitude | 38 |
| Figura 15. Gráfico com a dispersão dos valores do NDVI máximo em função da latitude | 38 |
| Figura 16. Mapas de distribuição das parcelas, por classe de NDVI, na área de estudo | 39 |
| Figura 17. Distribuição percentual do número de parcelas segundo a classe do NDVI máximo e por distrito | 40 |
| Figura 18. Evolução temporal do valor do NDVI (valores inferiores a 0,2) para três | |

| | |
|--|----|
| parcelas da área de estudo. | 44 |
| Figura 19. Evolução temporal do valor do NDVI (valores superiores a 0,2 e inferiores a 0,4) para três parcelas da área de estudo | 45 |
| Figura 20. Evolução temporal do valor do NDVI (valores superiores a 0,4) para três parcelas da área de estudo. | 46 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Zonas do espectro eletromagnético usadas em deteção remota (Sousa e Marques da Silva, 2011) | 6 |
| Tabela 2. Características das bandas do Sentinel 2 (ESA, 2012) | 11 |
| Tabela 3. Número de parcelas em estudo e respetiva área total por NUT II no ano de 2018 (fonte: IFAP) | 19 |
| Tabela 4. Áreas (ha) declaradas nas candidaturas Pedido Único (PU) da campanha de 2018, por NUTII (IFAP, 2019c) | 19 |
| Tabela 5. Caracterização da dimensão das parcelas na área de estudo (fonte: IFAP). | 20 |
| Tabela 6. Atributos dos dados vetoriais disponibilizados pelo IFAP | 20 |
| Tabela 7. Datas de aquisição das imagens de satélite | 21 |
| Tabela 8. Bandas das imagens Sentinel 2 utilizadas neste estudo | 21 |
| Tabela 9. Exemplo da estrutura e tipo de dados fornecidos pela plataforma <i>Agromap</i> | 21 |
| Tabela 10. Aplicações informáticas e etapas em que foram utilizadas | 22 |
| Tabela 11. Exemplo da estrutura e atributos do ficheiro <i>shapefile</i> | 23 |
| Tabela 12. Exemplo da estrutura do ficheiro <i>shapefile</i> com dois novos atributos (ID Único e ID_ <i>Agromap</i>) | 23 |
| Tabela 13. Exemplo de cálculo do NDVI máximo por parcela (ID_ <i>Agromap</i>) no período de tempo considerado | 24 |
| Tabela 14. Classes usadas na organização dos dados de NDVI. | 28 |
| Tabela 15. Exemplo da estrutura do ficheiro global com a organização dos dados. | 29 |
| Tabela 16. Estatística descritiva do NDVI em diferentes datas, no conjunto das parcelas em estudo | 30 |
| Tabela 17. Estatística descritiva do NDVI máximo (por classe e no total). | 31 |
| Tabela 18. Distribuição do número de parcelas por classe do NDVI máximo | 32 |
| Tabela 19. Valores médios do NDVI, por classe e por data, do conjunto de parcelas | 33 |
| Tabela 20. Distribuição do número de parcelas, por classe de NDVI, e por distrito | 37 |
| Tabela 21. Número de parcelas por classe do NDVI máximo ($< 0,2$; $\geq 0,2$ a $< 0,4$) e por concelho. | 41 |
| Tabela 22. Resumo das áreas (ha) de milho de sequeiro e regadio nos concelhos com valores do NDVI máximo $< 0,4$ | 41 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----------------|--|
| ANPROMIS | Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo |
| CE | Comissão Europeia |
| CwRS | Control with Remote Sensing |
| DG-AGRI | Directorate-General for Agriculture and Rural Development |
| DG-Grow | Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs |
| DG-JRC | DG Joint Research Centre |
| DR | Deteção Remota |
| EEM | Espectro Eletromagnético |
| ESA | European Space Agency |
| EU | European Union |
| FEADER | Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural |
| FEAGA | Fundo Europeu Agrícola |
| HR | High Resolution |
| IFAP | Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. |
| ISIP | Sistema de Identificação Parcelar |
| IVM | Infravermelho Médio |
| IVP | Infravermelho Próximo |
| JRC | Joint Research Centre |
| KML | Keyhole Markup Language |
| MSI | MultiSpectral Instrument |

| | |
|----------------|---|
| NDVI | Normalised Difference Vegetation Index |
| NIR | Near Infrared |
| NUT | Nomenclatura de Unidades Territoriais |
| PAC | Política Agrícola Comum |
| PU | Pedido Único |
| REM | Radiação Eletromagnética |
| SEN4CAP | Sentinel for Common Agricultural Policy |
| SI | Sistema Internacional |
| SIGC | Sistema Integrado de Gestão e de Controlo |
| SWIR | Short Wave Infrared |
| UE | União Europeia |
| V | Vermelho |
| VHR | Very High Resolution |
| VIS | Visível |

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A Política Agrícola Comum (PAC) é um sistema de ajudas e programas de apoio à agricultura da União Europeia (UE). A PAC assegura o financiamento de uma série de medidas, incluindo pagamentos diretos, medidas de mercado e desenvolvimento rural, que visam garantir, entre outros, a competitividade e a sustentabilidade da agricultura na Europa. Em 2019 as despesas da PAC representam cerca de 36,1% do orçamento da UE (58,4 mil milhões de euros) (UE, 2019).

Em Portugal o organismo responsável pela validação e pelo pagamento decorrente do financiamento das medidas definidas a nível nacional e comunitário, é o Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. (IFAP).

Para receber apoios no âmbito das medidas da PAC, o agricultor deve identificar na plataforma do IFAP “Sistema de Identificação Parcelar” (ISIP) o limite de todas as parcelas da exploração agrícola, às quais é atribuído um número único, assim como a delimitação e classificação das ocupações de solo, fornecendo informação geográfica de suporte à correta apresentação de candidaturas a ajudas comunitárias e a execução de ações de controlo. Para além disso deve submeter, anualmente, o formulário “Pedido Único” (PU), que consiste na declaração das culturas e respetivas áreas, e no pedido de pagamento direto das ajudas que integram os regimes sujeitos ao Sistema Integrado de Gestão e de Controlo (SIGC). O SIGC é um sistema que garante que os controlos, administrativos e no local, sejam efetuados de modo a assegurar a verificação eficaz do cumprimento dos requisitos da concessão das ajudas (IFAP, 2019a).

No âmbito das suas funções como organismo responsável pela validação e pagamento dos pedidos de apoio submetidos pelos agricultores, o IFAP, de acordo com a legislação comunitária e em conformidade com o SIGC, deve anualmente realizar um controlo administrativo sistemático de todos os pedidos de ajuda, que deve ser complementado por verificações no terreno (UE, 2014). A tarefa de verificação no terreno dos dados declarados pelos agricultores, para além de ser onerosa, complexa e muito demorada, requer muitos recursos humanos altamente qualificados.

O Regulamento de Execução (EU) 2018/746 da Comissão de 18 de maio de 2018,

introduz algumas alterações ao nível dos procedimentos de controlo, possibilitando, em determinadas situações, o controlo por monitorização (UE, 2018). A monitorização é um procedimento automático baseado na observação permanente e sistemática das áreas e culturas candidatas às ajudas comunitárias, que recorre aos dados das imagens recolhidas pelos satélites Sentinel do Programa Copernicus, e cujo objetivo principal é determinar e classificar as ocupações culturais das superfícies agrícolas observadas, para posterior cruzamento com as declarações efetuadas pelos agricultores. Esta alteração na metodologia de controlo, permitindo o uso de novas tecnologias na gestão do SIGC, insere-se num conjunto de medidas que visam a modernização e simplificação da PAC pós 2020, prevendo mesmo a possibilidade de substituir completamente as atuais verificações no local por um sistema automático que utiliza e analisa permanentemente os dados recolhidos pelos satélites Sentinel.

A adoção de um procedimento automático de observação, seguimento e de avaliação regular do cumprimento de todos os critérios de elegibilidade e compromissos que possam ser objeto de monitorização, traduzir-se-á numa redução do número de verificações no local que será necessário fazer, ficando reservadas para as situações em que as evidências digitais não são suficientes e aceitáveis como prova do cumprimento das regras pelo agricultor (UE, 2018). Esta nova metodologia de controlo também será aplicada em Portugal e no presente estudo pretende-se avaliar o uso de tecnologias digitais na monitorização das ajudas da PAC, como alternativa eficaz e credível às inspeções físicas no terreno, recorrendo à análise de dados recolhidos remotamente pelo satélite Sentinel 2.

1.2. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar o potencial e a fiabilidade dos dados das imagens do satélite Sentinel 2 na monitorização da elegibilidade das parcelas agrícolas às ajudas da PAC em Portugal. Em concreto pretende-se confirmar remotamente a presença da cultura de milho, na amostra de parcelas controladas e confirmadas em campo na campanha de 2018 pelo IFAP e candidatas às ajudas da PAC. Para o efeito vai ser utilizado um índice de vegetação, o NDVI, que é um índice que se correlaciona com o vigor vegetativo das plantas (Serrano *et al.*, 2016).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Detecção Remota (DR)

A DR é a ciência de obter informação sobre um determinado alvo/objeto na superfície da terra sem entrar em contacto mecânico com ele. A informação é obtida através de sensores digitais instalados em estruturas aéreas ou espaciais, vulgarmente aviões e satélites, que registam a energia refletida e/ou emitida pelos alvos, com posterior processamento, análise e aplicação dessa informação (CCRS, 2016; Lillesand *et al.*, 2007).

As observações por DR implicam sempre que haja transmissão de energia entre o objeto observado e o sensor, e baseiam-se no princípio de que todos os objetos da superfície terrestre ao receberem a energia do sol a reemitem para o espaço. A transferência de informação entre o objeto observado e o sensor, ocorre sob a forma de radiação eletromagnética (REM) e o sol é o emissor original desta radiação.

Na DR a aquisição de informação e posterior obtenção de imagens da superfície terrestre, ou de algum objeto em particular, ocorre por meio da deteção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (Meneses & Almeida, 2012).

A DR tem aplicação prática nas áreas da agricultura, monitorização ambiental, reconhecimento e sinalização de recursos naturais, cartografia, defesa e vigilância, entre outras.

2.1.1. Radiação eletromagnética (REM)

O sol é fonte de energia que ao iluminar a superfície terrestre torna possível a deteção de objetos. Esta energia assume a forma de REM e só é perceptível quando colide com alguma superfície. A REM consiste num campo elétrico E , cuja magnitude varia numa direção perpendicular à de propagação da radiação, e num campo magnético M , orientado ortogonalmente ao campo elétrico (Meneses & Almeida, 2012).

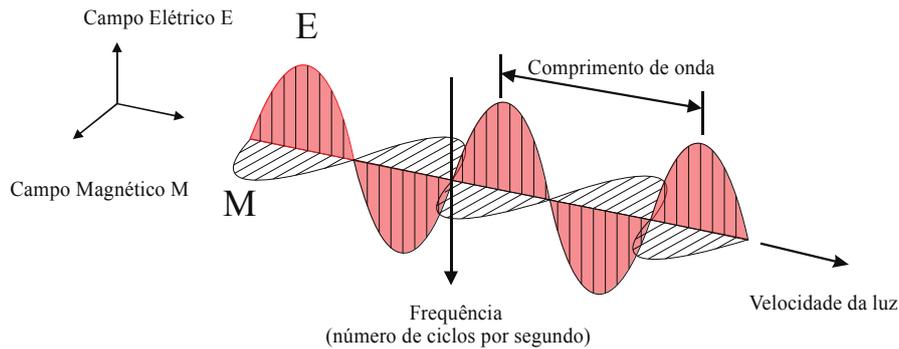


Figura 1. Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações ortogonais dos campos magnético (M) e elétrico (E) (Meneses & Almeida, 2012)

Em DR é frequente caracterizar a radiação eletromagnética apenas pela componente comprimento de onda (λ), e que corresponde à distância entre dois picos sucessivos de ondas (Figura 1). De acordo com o Sistema Internacional (SI) a unidade de medida é o micrómetro ($\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$).

2.1.2. Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é “o sistema que classifica, de acordo com o comprimento de onda, toda a energia que se move, harmonicamente, à velocidade da luz” (NASA, 2013) (Figura 2).

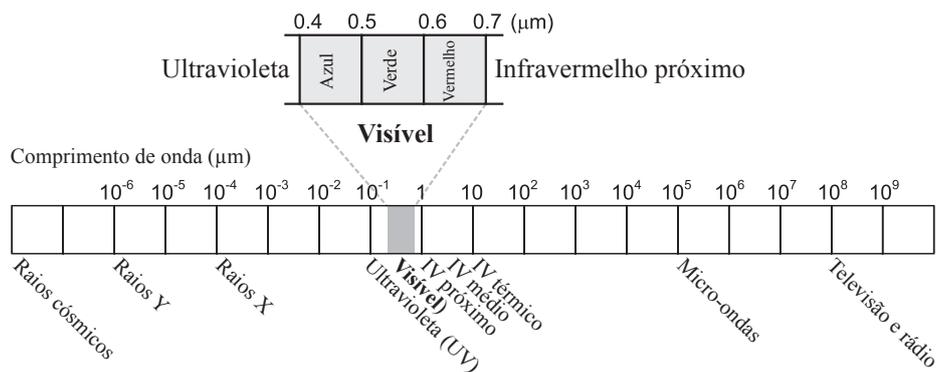


Figura 2. Espectro eletromagnético (adaptado de Lillesand *et al.*, 2007)

Há várias regiões do espectro eletromagnético com aplicação em DR (Tabela 1.). A região ultravioleta tem os comprimentos de onda mais curtos com interesse para a DR. A região visível do espectro, comumente chamada “luz”, ocupa uma porção relativamente pequena e é a única região do espectro que podemos associar ao conceito de cor.

Os comprimentos de onda mais longos com interesse para a DR estão nas regiões do Infravermelho e Micro-ondas. O Infravermelho térmico fornece informação sobre a temperatura da superfície, podendo esta estar relacionada, por exemplo, com a composição mineral das rochas ou com o estado da vegetação (Bakker *et al.*, 2001).

Tabela 1. Zonas do espectro eletromagnético usadas em detecção remota (Sousa e Marques da Silva, 2011)

| Zona do espectro | | Intervalo de comprimento de onda |
|--------------------|------------------|----------------------------------|
| Ultravioleta | | 0,30 - 0,38 μm |
| Visível | Azul | 0,42 - 0,49 μm |
| | Verde | 0,49 - 0,58 μm |
| | Vermelho | 0,58 - 0,70 μm |
| Infravermelho (IV) | IV próximo (IVP) | 0,70 - 1,30 μm |
| | IV médio (IVM) | 1,30 - 3 μm |
| | IV térmico (IVT) | > 3 μm |
| Microondas | | 1 mm - 1 m |

2.1.3. Interferências atmosféricas

O sol é a mais potente fonte de REM que atinge a superfície terrestre. A Terra também emite REM embora numa ordem de grandeza bem menor que o sol. Em detecção remota passiva, estas são as duas fontes naturais de REM mais usadas. Durante a sua passagem através da atmosfera, a REM vinda do sol ou emitida pela terra, interage com as partículas e gases presentes na atmosfera, essencialmente através de mecanismos de absorção e dispersão.

O mecanismo de absorção ocorre quando parte da REM é absorvida por determinados constituintes da atmosfera. O ozono (O_3), o dióxido de carbono (CO_2) e o vapor de água (H_2O), são os três constituintes atmosféricos que mais REM absorvem (Lillesand *et al.*, 2007). Como consequência, uma parte significativa da radiação é impedida de atingir a superfície terrestre, o mesmo acontecendo com a radiação emitida pela terra. Cada um destes constituintes da atmosfera absorve radiação em regiões muito específicas do espectro, pelo que determinam quais as partes do espectro eletromagnético que devem ser usadas em detecção remota. As regiões do espectro eletromagnético que não

são severamente afetadas pela absorção atmosférica são as mais usadas em DR e são conhecidas por janelas atmosféricas (Sabins, 1987). A dispersão corresponde à mudança de trajetória original da REM devido à sua interação com as partículas e gases da atmosfera. A magnitude da dispersão depende de vários fatores, incluindo o comprimento de onda da radiação, a abundância de partículas e gases e a distância percorrida pela radiação na atmosfera (Sousa e Marques da Silva, 2011).

2.1.4. Interação da REM com a superfície terrestre

A fração da REM que incide na superfície terrestre interage com esta de três formas diferentes: absorção, transmissão e reflexão (Figura 3). A energia da radiação é absorvida quando é retida pelos objetos ou superfícies, e é transmitida quando atravessa os mesmos sem redução significativa. A reflexão ocorre quando a radiação é redirecionada ao atingir um determinado alvo ou superfície (Aggarwal, 2004). Estas variáveis estão relacionadas entre si através da equação (1):

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda} \quad (1)$$

Equação 1 – Equação referente à relação entre energia incidente (I_{λ}), energia refletida (R_{λ}), energia absorvida (A_{λ}) e energia transmitida (T_{λ})

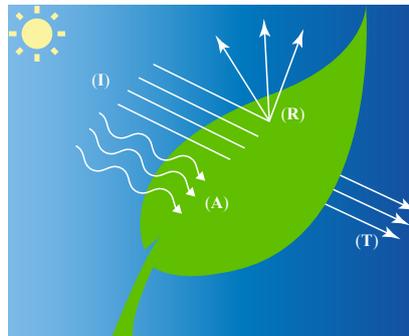


Figura 3. Interação da REM com a superfície terrestre

A intensidade da reflexão depende do ângulo de incidência, da rugosidade da superfície do alvo e da refletância das superfícies (razão entre a energia incidente e a energia refletida por unidade de superfície) (Sousa e Marques da Silva, 2011). Na interação com a superfície terrestre, a REM sofre uma série de mudanças, entre outras, na magnitude, na direção e no comprimento de onda, que permitem obter informação útil sobre o objeto

ou superfície em estudo (Aggarwal, 2004). Das três interações referidas anteriormente, a reflexão é a que tem mais interesse em DR.

2.1.5. Comportamento espectral da vegetação

A REM que cada objeto ou superfície absorve, transmite ou reflete, varia com o comprimento de onda. A refletividade de um objeto pode ser analisada em função do comprimento de onda da radiação incidente sobre o mesmo, permitindo a construção gráfica da curva de refletividade espectral desse objeto (assinatura espectral), (Sousa e Marques da Silva, 2011).

O comportamento espectral da vegetação não pode ser generalizado uma vez que cada espécie vegetal possui uma curva espectral característica. Para além da influência da estação do ano e da zona geográfica em análise, dentro da mesma espécie vegetal existem, ainda, fatores que influenciam as características de refletância da vegetação, como sejam a pigmentação, o teor de água, a forma, a composição e a estrutura interna das folhas (Aggarwal, 2004).

A refletância da vegetação varia em função do comprimento de onda. A Figura 4. mostra uma curva de refletância ideal. Na região do visível devido à presença de pigmentos, principalmente de clorofila, os comprimentos de onda correspondentes ao azul (0,49 μm) e ao vermelho (0,65 μm) são absorvidos, enquanto que o comprimento de onda correspondente ao verde (0,54 μm) é refletido.

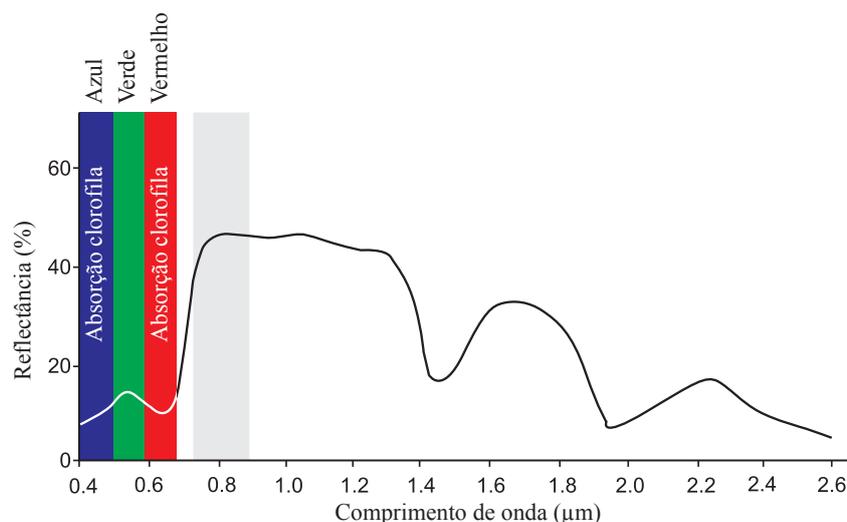


Figura 4. Refletância ideal da folha de uma planta saudável (adaptado de Bakker *et al.*, 2001)

As folhas com forte vigor vegetativo absorvem pouca radiação na gama do infravermelho próximo (IVP). Na maior parte da vegetação, a estrutura interna das folhas origina um pico de refletância nesta região do espectro (0,7 a 1,3 μm), podendo atingir valores de 45 a 50%. Na região do infravermelho médio (IVM) os valores da refletância são mais baixos que no IVP, e o valor desta é determinado principalmente pela água presente nos tecidos das folhas; mais água resulta em menos reflexão e por consequência mais absorção (picos de absorção em 1.4, 1.9 e 2.7 μm , aproximadamente).

2.1.6. Sensores óticos multiespectrais

Os sensores óticos registam informação nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético (EEM) (Sousa e Marques da Silva, 2011). A capacidade de um sensor distinguir entre diferentes intervalos (bandas) do EEM é o que define a sua resolução espectral. Em função do número de bandas que um sensor consegue registar, podemos classificar os sensores em mono-espectral, multiespectral e hiperespectral. Quando permite o registo de mais que uma banda (até um máximo de 20, variando de acordo com o autor) designa-se por sensor multiespectral e é o mais comum em deteção remota (Lira *et al.*, 2016). Estes sensores registam informação sob a forma de imagens multiespectrais individuais, cada uma representando um intervalo no EEM.

2.1.7. Índice espectral de vegetação e NDVI

Os índices de vegetação resultam da combinação de valores de radiação emitida pela vegetação, com base na medição da sua resposta espectral em duas bandas do espectro eletromagnético: do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V) (Fung & Siu, 2000). O índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o índice de vegetação mais conhecido (Loveland *et al.*, 1991) e foi introduzido por Rouse *et al.* (1974) com o objetivo de criar um índice de vegetação espectral (IV) que permitisse a diferenciação da vegetação da superfície do solo. O NDVI é um índice espectral que relaciona os valores de refletância da vegetação em duas bandas espectrais, infravermelho próximo (IVP) e vermelho (V) através da equação (2):

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V}) \quad (2)$$

Equação 2 – Equação referente ao cálculo do NDVI, em que IVP - Infravermelho Próximo, V - Vermelho

ONDVI está diretamente relacionado com o conteúdo de clorofila nas folhas e é largamente utilizado para realçar e distinguir vegetação de diferentes tipos e/ou em diferentes fases do seu ciclo vegetativo, para avaliar o estado de saúde das plantas e detetar mudanças do coberto vegetal ao longo do tempo, entre outros. Este índice varia entre -1 e 1 sendo que valores de NDVI próximos da unidade refletem maior cobertura do solo com vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que valores mais baixos de NDVI correspondem a zonas de solo descoberto ou vegetação com reduções de clorofila (Meneses & Almeida, 2012).

2.1.8. Missão Sentinel 2

A missão Sentinel 2 está inserida no programa Copernicus da União Europeia, através da Agência Espacial Europeia (ESA – European Spatial Agency) e é composta por um par de satélites, 2A e 2B. Ambos partilham a mesma órbita, quase polar e sincronizada com o sol, a uma altitude de 786 km, cobrindo 290 km de largura e com uma diferença de fase de 180°. Esta disposição dos dois satélites otimiza a cobertura e os tempos de revisitação global (5 dias). O Sentinel 2A foi lançado em 23 de junho de 2015 e o Sentinel 2B em 7 de março de 2017. Possuem um tempo de vida de 7 anos com recursos disponíveis para 5 anos adicionais (ESA, 2019).



Figura 5. Sentinel 2A (fonte: Agência Espacial Europeia)

A constelação Sentinel 2 dispõe de um sensor MSI (*MultiSpectral Instrument*) com 13 bandas espectrais (Tabela 2.), com grande resolução espacial (10, 20 ou 60 m, dependendo da banda). Adquire e regista informação em 13 bandas, entre o visível (VIS com 4 bandas), o infravermelho próximo (NIR com 6 bandas) e o infravermelho de ondas curtas (SWIR com 3 bandas) (ESA, 2012).

Tabela 2. Características das bandas do Sentinel 2 (ESA, 2012)

| Banda | Nome | Comprimento de Onda Central (nm) | Resolução Espacial (m) |
|-------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 1 | <i>Coastal aerosol</i> | 443 | 60 |
| 2 | <i>Blue</i> | 490 | 10 |
| 3 | <i>Green</i> | 560 | 10 |
| 4 | <i>Red</i> | 665 | 10 |
| 5 | <i>Vegetation red edge</i> | 705 | 20 |
| 6 | <i>Vegetation red edge</i> | 740 | 20 |
| 7 | <i>Vegetation red edge</i> | 783 | 20 |
| 8 | <i>Near-infrared</i> | 842 | 10 |
| 8b | <i>Near-infrared narrow</i> | 865 | 20 |
| 9 | <i>Water vapour</i> | 945 | 60 |
| 10 | <i>Shortwave infrared cirrus</i> | 1380 | 60 |
| 11 | <i>Shortwave infrared</i> | 1610 | 20 |
| 12 | <i>Shortwave infrared</i> | 2190 | 20 |

Os dados adquiridos pela missão Sentinel 2 são disponibilizados em diversas plataformas de forma gratuita, podendo ser usados para inúmeras aplicações e em diversas áreas, tais como:

- Classificação de culturas e cálculo de vários índices vegetativos que permitem, entre outros, monitorizar o desenvolvimento vegetativo das plantas.
- Mapeamento e monitorização das alterações na cobertura e do uso do solo ao longo do tempo.
- Gestão de desastres naturais.
- Monitorização das massas de água e zonas costeiras.

2.2. A Política Agrícola Comum (PAC)

2.2.1. Controlo das ajudas no âmbito da Política Agrícola Comum

A Política Agrícola Comum (PAC), criada em 1962, é um sistema de ajudas e programas de apoio à agricultura da União Europeia (UE). Um dos principais objetivos da PAC passa por apoiar financeiramente os agricultores de modo a garantir um abastecimento estável de alimentos a preços acessíveis. Este apoio é materializado no financiamento de uma série de medidas, incluindo pagamentos diretos, medidas de mercado e desenvolvimento rural. O apoio ao rendimento dos agricultores por via da PAC provém de dois fundos no quadro do orçamento da UE, o Fundo Europeu Agrícola (FEAGA) e o Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER) (CE, 2018b).

Atendendo ao peso relativo destes dois fundos no orçamento da UE, 36,1% em 2019, e à necessidade de garantir junto dos contribuintes Europeus que os apoios ao rendimento são atribuídos de forma adequada e que os montantes indevidamente pagos são recuperados, foi criado o Sistema Integrado de Gestão e Controlo (SIGC). O SIGC consiste num conjunto de bases de dados digitais interligadas: um sistema de identificação das parcelas agrícolas (ISIP); um sistema que permite aos agricultores identificar graficamente as superfícies agrícolas objeto de pedidos de ajuda; uma base de dados informatizada dos animais existentes na UE e um sistema de controlo integrado, que garanta a realização de controlos, administrativos e de campo, dos pedidos de ajuda (UE, 2014; CE, 2018c).

O SIGC garante que o apoio ao rendimento do agricultor é gerido e controlado da mesma forma no conjunto dos países da UE. Por norma o SIGC cobre um processo anual, que se inicia com a apresentação do pedido de ajuda ao rendimento pelo próprio agricultor, habitualmente designado por Pedido Único (PU). O PU é um formulário eletrónico semipreenchido com informações da exploração do agricultor (parcelas, ocupação do solo, efetivo pecuário, entre outras) que o mesmo pode confirmar, corrigir ou complementar. Numa fase posterior e antes do pagamento de qualquer ajuda, o SIGC prevê que sejam realizados dois tipos de controlo às candidaturas PU: controlo administrativo e controlo de campo (inspeções físicas nas próprias explorações) (UE, 2014; CE, 2018c).

O controlo administrativo resulta do cruzamento informático de múltiplas bases de dados, aplica-se a todos os agricultores candidatos às ajudas e tem por objetivos garantir que os critérios de elegibilidade e os compromissos assumidos são cumpridos, que não há duplo

financiamento através de outros regimes da UE, que os pedidos de ajuda ou de pagamento são apresentados no prazo devido, e, se for caso disso, que são apresentados documentos comprovativos da elegibilidade.

O controlo de campo corresponde a uma verificação no local (inspeção real no terreno) e é realizada sem qualquer aviso prévio. Para os regimes de ajuda baseados na superfície, deve garantir que abrange, pelo menos, 5% de todos os agricultores que apresentem pedidos de ajuda. A seleção da amostra de controlo é realizada de acordo com determinados critérios de uma análise de risco, dos quais se destacam: o montante das ajudas, o número de parcelas agrícolas e a superfície objeto de pedido de ajuda, a evolução negativa do incumprimento em relação ao ano anterior e de outros fatores de risco obtidos a partir da análise estatística dos dados do controlo e do agricultor. O controlo de campo aplica-se a todas as parcelas agrícolas para as quais sejam pedidas ajudas e abrange, para além da medição da superfície, a verificação da elegibilidade das parcelas e pode incluir igualmente uma verificação da cultura, se for caso disso e o regime de ajudas o exigir (UE, 2014).

Depois de concluídos os controlos segue-se o pagamento das ajudas, tendo em consideração as constatações resultantes dos controlos realizados e que podem resultar em reduções ou mesmo exclusões do pagamento das ajudas. Sempre que a superfície determinada e considerada elegível, em sede de controlo administrativo ou controlo de campo, é superior à superfície declarada no pedido de ajuda, a superfície a considerar para efeitos de pagamento da ajuda é a superfície determinada e não existe qualquer penalização. Quando ocorre a situação inversa, o valor da ajuda deve, igualmente, ser calculado com base na superfície determinada mas neste caso haverá lugar a penalizações devido à sobredeclaração de área no pedido de ajuda. O valor e a magnitude da penalização vai depender, para além da diferença (%) entre a área declarada e a área determinada, de ser reincidente ou não.

Cada país da UE é responsável pela gestão e pelo controlo dos pagamentos aos seus agricultores, em conformidade com as regras e com os objetivos definidos para o SIGC: garantir a boa execução das operações financiadas no âmbito dos regimes de ajudas “superfícies” e “animais”, prevenir, detetar e acompanhar os casos de irregularidades, recuperar os montantes indevidamente pagos e ajudar os agricultores a preencher corretamente os pedidos de ajuda. Os países da UE gerem o SIGC através dos organismos

pagadores acreditados (CE, 2018c). Em Portugal o organismo responsável pela validação, pelo controlo e pelo pagamento das ajudas é o IFAP, (IFAP, 2019b).

A realização das ações de controlo no terreno, para além de ser uma tarefa complexa e burocrática, exige recursos financeiros consideráveis. De acordo com o Diário da República n.º 52/2018 , para o período de três anos, de 2019 a 2021, o financiamento nacional para a contratação dos serviços necessários à realização das ações de controlo, corresponde a 3 130 204,07 € (euros).

2.2.2. Controlo por monitorização

O Regulamento de Execução (UE) n.º 809/2014, estabelece, entre outras, as normas respeitantes ao Sistema Integrado de Gestão e Controlo (SIGC). De acordo com este regulamento, sempre que um estado membro efetue controlos por teledeteção, deve proceder à fotointerpretação de ortoimagens (aéreas ou de satélite) de todas as parcelas agrícolas por pedido de ajuda e/ou de pagamento a controlar, com vista a reconhecer o tipo de coberto vegetal e, se for caso disso, o tipo de cultura, e medir a superfície. Caso a fotointerpretação das ortoimagens não proporcione resultados que permitam retirar conclusões definitivas e satisfatórias sobre a elegibilidade das superfícies, a autoridade competente deve efetuar controlos físicos no terreno (UE, 2014).

Atualmente a fotointerpretação tem um papel fundamental em todo o processo de controlo das ajudas. As imagens usadas neste processo são fornecidas aos organismos pagadores, em Portugal o IFAP, pelo *Joint Research Centre* (JRC), o serviço científico interno da CE (CE, 2019). Este serviço desenvolve atividades inovadoras de monitorização da agricultura Europeia, tais como o CwRS (*Control with Remote Sensing*), desde 1998. Com base no suporte científico do JRC, a CE tem promovido a utilização do CwRS como método válido para controlo das ajudas da PAC. Este processo assenta essencialmente na interpretação visual de imagens multitemporais de alta resolução (HR) e de muito alta resolução (VHR). O controlo por fotointerpretação está muito dependente da existência de técnicos especialistas treinados em interpretar visualmente a superfície controlada, sendo por isso um processo moroso, sujeito à subjetividade do julgamento humano e não aplicável a todas as situações.

No âmbito do controlo das regras do *greening*, da condicionalidade e de algumas medidas

de desenvolvimento rural, não basta identificar a cultura e confirmar a respetiva área. Nestas situações é necessária uma abordagem de monitorização e acompanhamento da cultura/superfície durante um determinado período de tempo. Neste contexto o JRC publicou dois documentos de discussão propondo uma abordagem de monitorização em substituição do atual sistema de verificações no local (Devos *et al.*, 2017, 2018).

Para reduzir a carga administrativa associada aos controlos dos agricultores, nomeadamente o número de inspeções físicas no terreno, e incentivar a utilização das novas tecnologias no SIGC, o Regulamento de Execução (UE) 2018/746, que altera o Regulamento 809/2014, introduz a possibilidade de poderem ser utilizados os dados recolhidos pelos satélites Sentinel do Programa Copernicus no controlo das ajudas comunitárias. Estes satélites fornecem dados pertinentes e completos, gratuitos e abertos, que permitem o acompanhamento permanente (monitorização) do conjunto das superfícies agrícolas em cada um dos Estados-Membros.

Atendendo às dificuldades iniciais no processo de substituição do atual sistema de controlo, baseado em verificações no local, por controlos por monitorização, o Regulamento (UE) 2018/746 prevê que numa primeira fase apenas se realizem controlos por monitorização para determinados regimes de ajuda ou medidas de apoio. Este período de adaptação deve ser limitado no tempo para garantir a igualdade de tratamento de todos os agricultores.

O objetivo final desta nova abordagem ao controlo das ajudas é conseguir alargar os controlos por monitorização a todas as superfícies abrangidas pelo regime de ajuda ou medida de apoio, simplificando o papel das administrações públicas e reduzindo os custos afetos ao controlo e verificação das ajudas (UE, 2018).

A nível Europeu alguns estados membros já manifestaram a sua intenção em utilizar a monitorização no controlo das ajudas da PAC, e são vários os projetos piloto a decorrer com o objetivo de aprimorar e adaptar esta tecnologia à realidade agrícola de cada um (CE, 2018a). Em algumas regiões de Espanha, na campanha de 2019, a monitorização das superfícies declaradas pelos agricultores já é uma realidade (MAPA, 2019). Na Dinamarca o controlo por monitorização, complementado em algumas situações com inspeções físicas no terreno, está em funcionamento (DHI-GRAS, 2019). Em Portugal o controlo por monitorização não está ainda a acontecer sendo expectável que a sua aplicação seja complexa em virtude da diversidade de realidades agrícolas que é possível

encontrar em território nacional (estrutura fundiária, dispersão cultural, relevo, clima e orientação produtiva).

Utilizando diferentes técnicas de DR, vários estudos têm sido desenvolvidos na classificação automática de culturas no contexto de controlo das ajudas da PAC: Schmedtmann e Campagnolo (2015) propuseram um sistema automático de controlo, simples e de baixo custo, capaz de automatizar a classificação das culturas com o objetivo de reduzir ao mínimo a necessidade de fazer verificações no local e controlo por fotointerpretação. Kanjir *et al.* (2018) avaliaram o uso de séries temporais de dados do satélite Sentinel 2 na tentativa de identificação de áreas não elegíveis em parcelas de pastagem permanente candidatas a ajudas da PAC.

2.2.3. A deteção remota e a simplificação da PAC pós 2020

De acordo com a mais recente proposta de revisão da atual Política Agrícola Comum (PAC), a Comissão Europeia (CE) ambiciona, entre outros, reforçar a orientação para o mercado e aumentar a competitividade, priorizando a investigação, a tecnologia e a digitalização. A proposta de revisão e simplificação da PAC dá especial destaque ao papel das tecnologias digitais na persecução de alguns dos objetivos específicos desta reforma e ao mesmo tempo compromete todos os estados membros a apresentarem as suas estratégias para o desenvolvimento e utilização de tecnologias digitais na agricultura e nas zonas rurais, a fim de melhorar a eficácia e a eficiência das intervenções estratégicas da nova PAC (CE, 2018d). Espera-se que o uso das tecnologias digitais tenha um impacto significativo na simplificação de processos e na redução de custos para as administrações nacionais.

O JRC, no âmbito das suas funções de apoio técnico e científico à CE, publicou um primeiro documento de discussão no qual descreve os principais conceitos e componentes da futura abordagem ao controlo por monitorização, que visam substituir a atual abordagem por amostragem (verificações no local) dos pedidos de ajuda, por um novo sistema de monitorização que abrange a totalidade dos candidatos às ajudas da PAC. O objetivo é simplificar e reduzir custos com o controlo, principalmente devido a uma redução substancial no número de verificações no local. Tal substituição requer uma mudança no pensamento e nos procedimentos, baseada na adoção de tecnologia agora

disponível (Devos *et al.*, 2017).

O projeto SEN4CAP, desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA) em colaboração direta com a DG-AGRI, DG-Grow e DG-JRC, é uma iniciativa que visa contribuir para a modernização e simplificação da PAC no período pós-2020. Tem por objetivos fornecer às entidades nacionais e Europeias, algoritmos válidos, produtos e orientações que contribuam para o desenvolvimento e implementação da monitorização agrícola no âmbito da PAC. Este projeto prestará especial atenção à produção de evidências que suportem o uso dos dados dos satélites Sentinel na modernização e simplificação da PAC (Devos *et al.*, 2018).

2.2.4. A deteção remota e a monitorização agrícola

A agricultura, à semelhança de outros setores de atividade, atravessa uma fase de transformação em que as tecnologias digitais desempenham um papel fundamental. É um setor fortemente apoiado por fundos comunitários, cuja atribuição e validação precisa ser permanentemente monitorizada em todo o território Europeu. A monitorização por DR da agricultura na UE já se aplica desde 1988, com o objetivo de fornecer informação diversa sobre as áreas de cultivo e respetivas culturas, e verificar a validade das candidaturas dos agricultores às ajudas da PAC (CE, 2019).

A grande vantagem da DR é a sua capacidade de fornecer informação contínua, sem necessitar de contactar fisicamente com a cultura (Shanmugapriya *et al.*, 2019).

Em deteção remota são usados índices de vegetação capazes de avaliar o vigor vegetativo das culturas, fornecendo uma visão dinâmica das culturas ao longo do tempo (Haboudane *et al.*, 2002).

A DR é frequentemente utilizada para detetar alterações na vegetação e no coberto vegetal. São múltiplas as metodologias desenvolvidas que usam o NDVI para monitorizar culturas e a vegetação natural (Jakubauskas *et al.*, 2002; Sakamoto *et al.*, 2005). Vários autores referem o potencial da DR em recolher informação precisa e de baixo custo sobre a dinâmica da cobertura do solo, ao longo de todo o ciclo cultural, em grandes áreas (Atzberger, 2013; Shanmugapriya *et al.*, 2019).

O índice NDVI é muitas vezes utilizado na monitorização da vegetação, permitindo

detetar mudanças do coberto vegetal (Sousa e Marques da Silva, 2011). É um índice de vegetação que permite avaliar o vigor vegetativo de uma planta ou cultura ao longo de todo o seu ciclo cultural, bem como identificar e diferenciar áreas com determinado tipo de vegetação e áreas com reduzida ou inexistente vegetação. É o índice mais comumente utilizado em DR e está fortemente correlacionado com a produção de biomassa e com a cobertura vegetal (Box *et al.*, 1989).

A fenologia da vegetação, que descreve a evolução da cultura ao longo do seu ciclo cultural, pode ser monitorizada com base em técnicas de DR. Esta metodologia apresenta vantagens relativamente às observações em campo, permitindo obter informações sobre determinada superfície em qualquer lugar do mundo e ao longo de vários anos. As séries temporais de imagens multiespectrais obtidas por DR fornecem dados importantes sobre as alterações e diferenças fenológicas das culturas. Assumindo que as culturas seguem um ciclo anual de desenvolvimento (crescimento vegetativo, reprodução e morte), vários estudos têm sido realizados no sentido de evidenciarem determinada característica ou variável, principalmente na fase de maior crescimento vegetativo. Estes estudos procuram representar a evolução dos parâmetros em análise ao longo do ano, através de índices de vegetação (Verstraete *et al.*, 2008).

Sakamoto *et al.* (2005) desenvolveu um estudo baseado na análise multitemporal de imagens de satélite, com o objetivo de determinar os estados fenológicos da cultura. Os resultados finais, adaptados à área de estudo, permitiram identificar a data de sementeira, o pico de máximo vigor vegetativo e a data de colheita.

Num estudo realizado sobre várias culturas, entre elas o milho, foram extraídas diversas métricas fenológicas das quais destacamos: início, fase intermédia, fim e duração do ciclo vegetativo, mínima e máxima atividade fotossintética e respetiva amplitude (De Castro *et al.*, 2018).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo e dados utilizados

3.1.1. Área de estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde às áreas de milho (código de ocupação cultural “06” de acordo com a nomenclatura do IFAP) declaradas pelos agricultores e candidatas a ajudas da PAC, que foram controladas em campo e confirmadas pelo IFAP no ano de 2018. A distribuição das parcelas em estudo e respetivas áreas, por região (NUT II), está refletida na Tabela 3. No Anexo I é feita a distribuição das parcelas por distrito.

Tabela 3. Número de parcelas em estudo e respetiva área total por NUT II no ano de 2018 (fonte: IFAP)

| Região (NUT II) | Nº Parcelas | Área (ha) | % Área |
|------------------------------|-------------|-----------|--------|
| Norte | 7641 | 3994 | 41,39 |
| Centro | 4879 | 2546 | 26,39 |
| Área Metropolitana de Lisboa | 71 | 456 | 4,73 |
| Alentejo | 718 | 2646 | 27,42 |
| Algarve | 25 | 7 | 0,07 |
| TOTAIS | 13334 | 9649 | 100 |

Na Tabela 4 é apresentada, para o ano de 2018, a distribuição das áreas de milho candidatas às ajudas da PAC (IFAP, 2019c). Comparando os dados das Tabelas 3 e 4, verificamos que a área da amostra das parcelas em estudo, por região, está em concordância com a área total declarada em cada região.

Tabela 4. Áreas (ha) declaradas nas candidaturas Pedido Único (PU) da campanha de 2018, por NUTII (IFAP, 2019c)

| Região | Milho Grão | | Milho Forrageiro | | Total | % Área |
|------------------------------|------------|----------|------------------|----------|--------|--------|
| | Regadio | Sequeiro | Regadio | Sequeiro | | |
| Norte | 13242 | 5029 | 21105 | 1973 | 41349 | 40,00 |
| Centro | 15894 | 4965 | 5788 | 592 | 27239 | 26,35 |
| Área Metropolitana de Lisboa | 1591 | 49 | 992 | 7 | 2639 | 2,55 |
| Alentejo | 26293 | 618 | 5059 | 139 | 32109 | 31,05 |
| Algarve | 26 | 18 | 2 | 1 | 47 | 0,05 |
| TOTAIS | 57046 | 10679 | 32946 | 2712 | 103383 | 100 |

Na área de estudo, o milho grão é dominante nas regiões do Centro e do Alentejo, enquanto que o milho forrageiro, diretamente associado à bovinicultura leiteira, tem maior expressão na região Norte, principalmente no Entre Douro e Minho. Diretamente relacionado com as condições edafoclimáticas de cada região e com a existência de infraestruturas de regadio, o milho de sequeiro, para grão ou forrageiro, é produzido essencialmente nas regiões Norte e Centro.

Em termos de estrutura fundiária, cerca de 84 % das parcelas da área de estudo tem uma dimensão inferior a um hectare (Tabela 5). A justificação para este valor está relacionada com o facto de cerca de 68% da área de estudo se situar nas zonas norte e centro de Portugal (Tabela 3), regiões do continente onde se concentram as explorações de menor dimensão.

Tabela 5. Caracterização da dimensão das parcelas na área de estudo (fonte: IFAP)

| Classe (ha) | < 0,5 | 0,5 < 1 | 1 < 2 | 2 < 3 | 3 < 5 | 5 < 20 | 20 < 65 | Total |
|-------------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|
| (%) | 68,10 | 15,64 | 8,98 | 3,15 | 1,97 | 1,93 | 0,23 | 100 |

3.1.2. Dados das parcelas agrícolas e ocupações do solo

A informação relativa às 13334 parcelas agrícolas em estudo foi fornecida pelo IFAP e retirada da plataforma ISIP – Sistema de Identificação parcelar para o ano de 2018. Os dados foram disponibilizados em formato vetorial (ficheiro *shapefile* do tipo polígono) no sistema de coordenadas Hayford-Gauss Datum 73. Para além de alguns atributos secundários, estes dados incluem os limites das parcelas e a respetiva ocupação cultural (Tabela 6). A informação relativa à ocupação cultural de cada parcela teve origem nas ações de controlo de campo que o IFAP realizou em 2018, tendo sido confirmada a presença da cultura milho.

Tabela 6. Atributos dos dados vetoriais disponibilizados pelo IFAP

| Atributo | Descrição |
|------------|--|
| PAR_NUM | Número da parcela |
| OSA_CAMPAN | Campanha (ano) em controlo |
| DOS_NUM_DE | Nº da declaração dentro da parcela |
| OSA_SUB_PA | Nº de ordem dentro da declaração |
| OSA_ID | Nº único relativo a cada Ocupação de Solo (OCS) e subparcela |
| CULTURA | Cultura em controlo |

3.1.3. Dados de detecção remota

Sobre toda a área em estudo foram adquiridas imagens do satélite Sentinel 2 em oito datas do mês de agosto de 2018 (Tabela 7). A escolha do período de aquisição das imagens teve em consideração o ciclo fenológico do milho, considerando que no mês de agosto é atingido o pico vegetativo desta cultura.

Tabela 7. Datas de aquisição das imagens de satélite

| Cultura | Datas (2018) |
|---------|--------------|
| Milho | 03/08 |
| | 08/08 |
| | 13/08 |
| | 18/08 |
| | 23/08 |
| | 26/08 |
| | 28/08 |
| | 31/08 |

Neste estudo foram utilizadas imagens óticas do satélite Sentinel 2 em duas bandas específicas, banda 4 (B4) e banda 8 (B8), cujas características estão resumidas na Tabela 8.

Tabela 8. Bandas das imagens Sentinel 2 utilizadas neste estudo

| Banda | Comprimento de Onda (nm) | Resolução Espacial (m) |
|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| B4 (Vermelho) | 665 | 10 |
| B8 (Infravermelho Próximo) | 842 | 10 |

Todas as imagens foram obtidas através da plataforma *Agromap* (Tabela 10), assim como o processamento das mesmas e o cálculo dos valores do NDVI para as parcelas em estudo. Os dados de DR foram disponibilizados em ficheiros com o formato “*csv*”, contendo para cada parcela (identificador *ID_Agromap*) a informação resumida na Tabela 9.

Tabela 9. Exemplo da estrutura e tipo de dados fornecidos pela plataforma *Agromap*

| <i>ID_Agromap</i> | Coordenada “x” | Coordenada “y” | Valor médio do NDVI |
|-------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| 20,80276 | -8.58669469535114 | 39.2937552483542 | 0.759 |

3.2. Metodologia

Neste estudo pretende-se desenvolver uma metodologia com base em técnicas de DR, recorrendo a imagens de satélite, que permita deduzir o índice de vegetação NDVI e, a partir deste, validar a presença da cultura de milho na amostra de parcelas disponibilizadas pelo IFAP, cuja origem está descrita no ponto 3.1.2. O fluxograma representado na Figura 6 sintetiza as várias etapas da metodologia seguida.

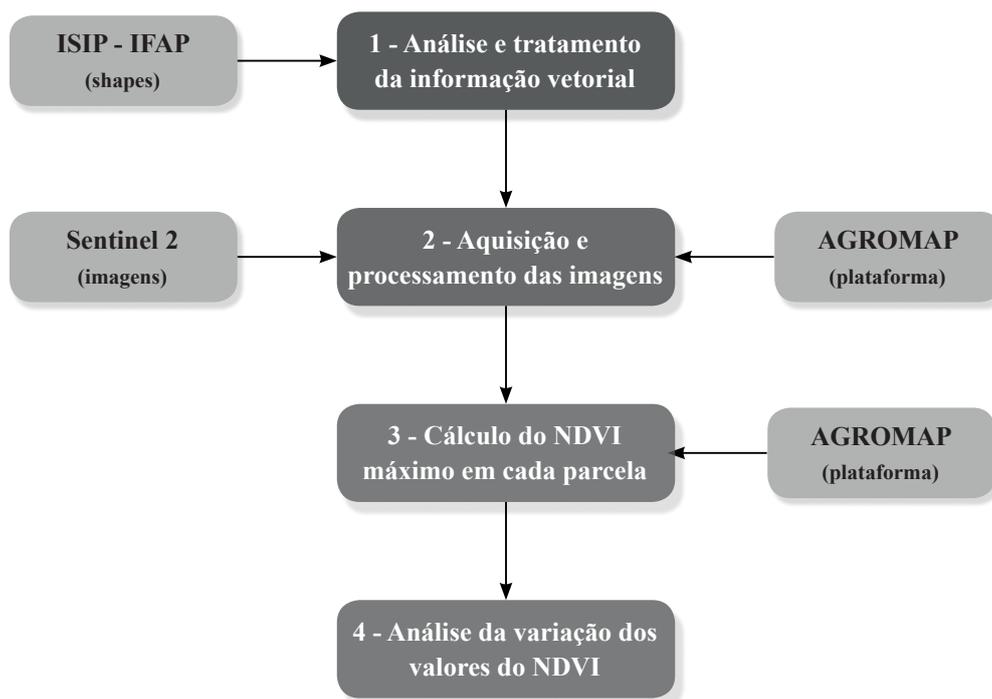


Figura 6. Fluxograma da metodologia utilizada

No decurso deste estudo foram utilizadas diversas aplicações informáticas que estão sintetizadas na Tabela 10.

Tabela 10. Aplicações informáticas e etapas em que foram utilizadas

| Aplicação informática | Área de aplicação |
|--|---|
|  AGROINSIDER | Plataforma <i>Agromap</i> da <i>Agroinsider</i> (www.agromap.agroinsider360.com): aquisição e processamento das imagens Sentinel 2; cálculo do NDVI |
|  ArcGIS | <i>ArcGIS</i> - Tratamento da informação vetorial |
|  Excel | <i>Microsoft Excel</i> - Organização de dados em ficheiros do tipo “ <i>csv</i> ” |
|  R Studio | <i>RStudio</i> - tratamento estatístico e visualização da variação dos valores de NDVI na área de estudo |

3.2.1. Tratamento da informação vetorial

Os dados foram disponibilizados pelo IFAP em formato vetorial (ficheiro *shapefile* do tipo polígono). Um exemplo dos atributos associados a este conjunto de dados vetoriais está listado na Tabela 11.

Tabela 11. Exemplo da estrutura e atributos do ficheiro *shapefile*

| Shape | PAR_NUM | OSA_CAMPAN | DOS_NUM_DE | OSA_SUB_PA | OSA_ID | CULTURA |
|---------|---------------|------------|------------|------------|---------|---------|
| Polygon | 1892288233028 | 2018 | 3 | 001 | 4048156 | 06 |

Estes dados são relativos às parcelas de milho (código de ocupação cultural “06”) controladas na campanha de 2018 e na sua forma original incluem as inspeções físicas no terreno e as ações de controlo por teledeteção. Neste estudo pretendemos aplicar a metodologia em causa apenas às parcelas que foram alvo de inspeções no terreno pelo que tivemos de filtrar e retirar do conjunto de dados em estudo, todas as parcelas alvo de controlo por teledeteção.

Com o objetivo de garantir a rastreabilidade com os dados originais do IFAP e facilitar a integração desta base de dados com a plataforma *Agromap*, foram criados dois novos atributos (Tabela 12): *ID Único* e *ID Agromap*. Cada parcela (polígono) da base de dados global passou a ter estes dois novos atributos.

Tabela 12. Exemplo da estrutura do ficheiro *shapefile* com dois novos atributos (*ID Único* e *ID Agromap*)

| Shape | PAR_NUM | OSA_CAMPAN | DOS_NUM_DE | OSA_SUB_PA | OSA_ID | ID Único | ID Agromap | CULTURA |
|---------|---------------|------------|------------|------------|---------|--------------|------------|---------|
| Polygon | 1511992760400 | 2018 | 7 | 000 | 4522495 | 4522495_2018 | 64638 | 06 |

Na última fase desta etapa, a *shapefile* com os polígonos das parcelas foi convertido para o formato *KML*, possibilitando desta forma a sua integração na plataforma *Agromap*. Todas as tarefas desta etapa foram executadas usando o ambiente de *software ArcGIS* versão 10.6.1.

3.2.2. Processamento das imagens e determinação dos valores do NDVI

Do conjunto de imagens de satélite adquiridas através da plataforma *Agromap*, e que cobrem toda a área de estudo, interessa extrair em cada uma das datas selecionadas, a

informação que permita o cálculo do índice NDVI (equação 2) em todas as parcelas em análise.

$$\text{NDVI} = (\text{B8} - \text{B4}) / (\text{B8} + \text{B4}) \quad (2)$$

O cálculo deste índice baseia-se na medição da resposta espectral em duas bandas: do infravermelho próximo (B8) e do vermelho (B4) (Serrano *et al.*, 2016).

Ao nível da plataforma *Agromap* e com base na informação que resultou do tratamento dos dados vetoriais da etapa 1, foi realizado, nas imagens do Sentinel 2, o recorte dos limites de cada uma das parcelas. Individualizada a área de cada parcela seguiu-se o cálculo do valor do NDVI médio para cada parcela e em todas as datas disponíveis. Por fim, determinou-se por parcela (*ID_Agromap*) o valor do NDVI médio mais elevado (NDVI máximo) no conjunto das oito datas em que foram adquiridas imagens de satélite, conforme descrito na Tabela 13.

Tabela 13. Exemplo de cálculo do NDVI máximo por parcela (*ID_Agromap*) no período de tempo considerado

| ID_Agromap | Data (2018) | Imagem | NDVI Médio | NDVI máximo |
|------------|-------------|---|------------|--------------|
| | 03/08 | Não disponível | 0.467 | - |
| | 08/08 |  | 0.636 | - |
| | 13/08 |  | 0.612 | - |
| | 18/08 |  | 0.624 | - |
| 64796 | 23/08 |  | 0.586 | - |
| | 26/08 |  | 0.655 | 0.655 |
| | 28/08 |  | 0.494 | - |
| | 31/08 |  | 0.654 | - |

Legenda: NDVI (escala de cores)



As tarefas relacionadas com o cálculo dos valores do NDVI médio e NDVI máximo foram executadas usando o ambiente de *software* R, 3.6.1 da versão 64 bits, em conjunto com a interface gráfica *RStudio*, versão 1.2.1335.

A cada valor do NDVI máximo foi associado a coordenada geográfica (x e y) correspondente ao centroide da parcela em causa. No seguimento deste procedimento foi devolvido um ficheiro global (Tabela 15) com a seguinte informação por parcela: “ID_Agromap”, “coord_x”, “coord_y”, “ndvi_1”, “ndvi_2”, “ndvi_3”, “ndvi_4”, “ndvi_5”, “ndvi_6”, “ndvi_7”, “ndvi_8” e “ndvi_máximo”, em que:

ID_Agromap - identificador na plataforma *Agromap*

coord_x - coordenada “x” do centro da parcela

coord_y - coordenada “y” do centro da parcela

ndvi_1 - valor do NDVI médio da parcela na data de 03/08/2018

ndvi_2 - valor do NDVI médio da parcela na data de 08/08/2018

ndvi_3 - valor do NDVI médio da parcela na data de 13/08/2018

ndvi_4 - valor do NDVI médio da parcela na data de 18/08/2018

ndvi_5 - valor do NDVI médio da parcela na data de 23/08/2018

ndvi_6 - valor do NDVI médio da parcela na data de 26/08/2018

ndvi_7 - valor do NDVI médio da parcela na data de 28/08/2018

ndvi_8 - valor do NDVI médio da parcela na data de 31/08/2018

ndvi_máximo - valor do NDVI máximo nas datas consideradas

A metodologia seguida neste estudo pretende, com base no valor do NDVI máximo de cada parcela, confirmar a presença da cultura de milho na amostra de parcelas fornecida pelo IFAP. Com esse objetivo e para uma correta aplicação das técnicas de deteção remota, é essencial conhecer o ciclo fenológico do milho. Em Portugal as sementeiras deste cereal, dependendo da região, do regime hídrico e da finalidade da cultura, iniciam-se no final do inverno e prolongam-se por toda a primavera (ANPROMIS, 2019). O pico vegetativo é atingido nos meses de julho e agosto e a data da colheita está dependente da finalidade da cultura, milho grão ou forrageiro. Para as datas de sementeira de março/abril, a colheita do milho forrageiro efetua-se na 2ª quinzena de agosto ou 1ª quinzena de setembro. A colheita do milho grão, nas nossas condições climáticas, geralmente

realiza-se desde meados de setembro até outubro, dependendo da variedade e da data de semeadura (Barros e Calado, 2014).

Em termos fisiológicos o desenvolvimento do milho tem duas fases principais, a fase vegetativa e a fase reprodutiva (Figura 7). A fase vegetativa coincide com o rápido desenvolvimento vegetativo e inclui os estádios VE (emergência), V1 (uma folha) até V12 (12 folhas) e VT (embandeiramento). A fase reprodutiva abrange os estádios R1 (aparecimento das sedas), R2 (emborrachamento), R3 (estado leitoso), R4 (estado pastoso), R5 (vítreo) e R6 (maturação fisiológica), (Hanway, 1966).

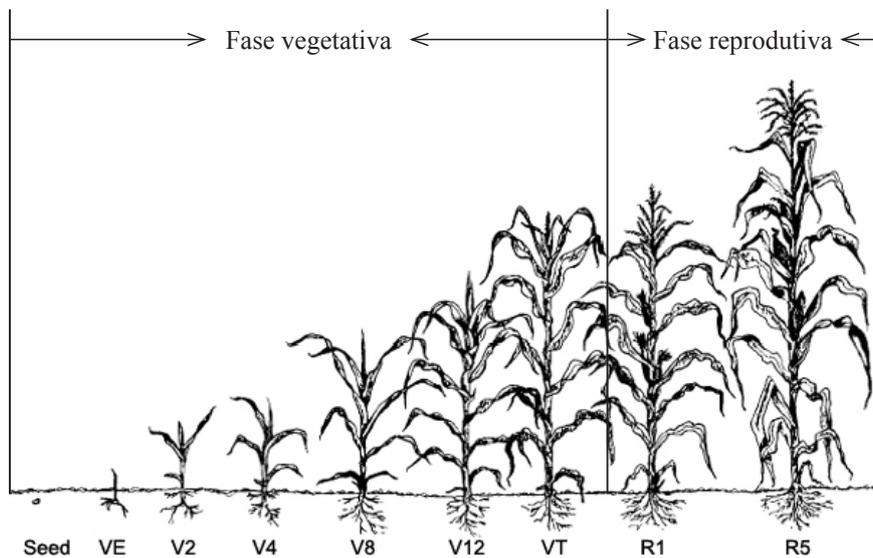


Figura 7. Estádios fenológicos do milho (adaptado de Hanway, 1966)

O NDVI é um índice vegetativo largamente utilizado para distinguir vegetação em diferentes fases do seu desenvolvimento vegetativo e detectar mudanças do coberto vegetal ao longo dos tempos. O índice NDVI varia entre -1 e 1 e está diretamente relacionado com o conteúdo de clorofila nas folhas. Valores do NDVI mais elevados indiciam a presença de vegetação fotossinteticamente ativa e com elevado vigor vegetativo, enquanto que valores do NDVI mais baixos correspondem a zonas de vegetação com menor vigor vegetativo ou zonas de solo descoberto (Dusseux *et al.*, 2015).

Vários estudos têm procurado definir o padrão dos valores do NDVI para as culturas de primavera verão e em particular para o milho. De acordo com Belgiu *et al.* (2018) o milho, cuja emergência ocorre em maio, atinge o pico vegetativo entre julho e agosto,

apresentando os valores máximos do NDVI neste período. Segundo Wardlow *et al.* (2007) a cultura do milho atinge o máximo crescimento vegetativo durante o mês de julho, apresentado um valor intermédio de NDVI (0,77).

Raun *et al.* (2005) apresentou resultados que relacionam os valores de NDVI com os diferentes estados de desenvolvimento da cultura de milho (Figura 8). Neste estudo os valores do NDVI estavam próximos de 0,2, 0,4 e 0,8, respetivamente 18, 33 e 59 dias após a sementeira, coincidindo com os estádios de desenvolvimento (V3), (V6) e (V10).

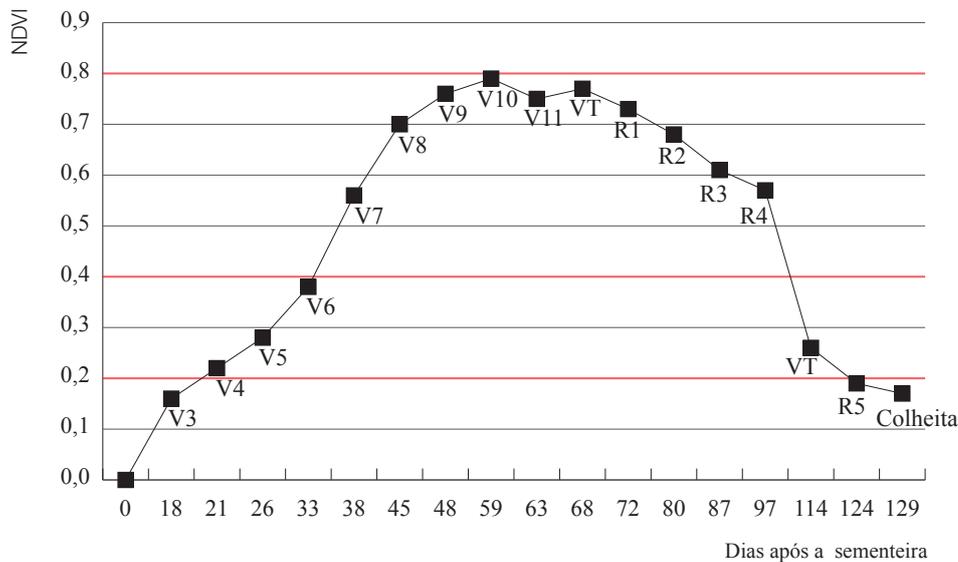


Figura 8. Valores médios do NDVI nos diferentes estádios fenológicos do milho (adaptado de Raun *et al.*, 2005)

Para uma mais eficiente análise dos dados, e depois de terem sido reunidos num único ficheiro, decidiu-se distribuir as parcelas por classes de NDVI máximo (Tabela 14), tendo em consideração que:

- Apesar da heterogeneidade da área de estudo em termos de condições climáticas, regimes hídricos, datas de sementeira e finalidade da cultura, que podem influenciar o escalonamento dos diferentes estádios fenológicos do milho, considera-se que no mês de agosto é expectável ter valores do NDVI máximo superiores a 0,6 nas parcelas em análise (classes $\geq 0,6$ a $< 0,8$; $\geq 0,8$);
- Para as situações em que a cultura apresenta um estado menos avançado de desenvolvimento vegetativo, cujas causas podem ter sido, por exemplo, uma sementeira

mais tardia ou ser cultivado em regime de sequeiro, decidiu-se quantificar as parcelas cujo valor do NDVI máximo, no período considerado, seja igual ou superior a 0,4 e inferior a 0,6 (classe $\geq 0,4$ a $< 0,6$);

- Podem ter ocorrido problemas graves de instalação da cultura e/ou no desenvolvimento vegetativo da mesma, pelo que decidiu-se quantificar as parcelas cujo valor do NDVI máximo, no período considerado, seja igual ou superior a 0,2 e inferior a 0,4 (classe $\geq 0,2$ a $< 0,4$);
- Em situações invulgares podem existir parcelas cujo valor do NDVI máximo indique a ausência de qualquer cultura com atividade fotossintética, pelo que decidiu-se quantificar as parcelas com valores do NDVI máximo, no período considerado, inferiores a 0,2 (classe $< 0,2$).

Tabela 14. Classes usadas na organização dos dados de NDVI

| Classe de NDVI | | | | | |
|----------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|
| Limite do NDVI | $< 0,2$ | $\geq 0,2$ a $< 0,4$ | $\geq 0,4$ a $< 0,6$ | $\geq 0,6$ a $< 0,8$ | $\geq 0,8$ |

4.2.3. Análise estatística dos dados

Os dados obtidos a partir da informação extraída das imagens de satélite (NDVI), foram sujeitos a análise estatística descritiva (cálculo da média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo, 1º e 3º quartil).

Todas as tarefas relacionadas com a análise estatística dos dados foram executadas usando o ambiente de *software* R, 3.6.1 da versão 64 bits, em conjunto com a interface gráfica *RStudio*, versão 1.2.1335. Várias bibliotecas (comumente chamados pacotes) que alargam a funcionalidade básica do *software* R foram usadas no processo de análise estatística, análise espacial, visualização e mapeamento de dados, como *ggplot2*, *maptools*, *mapdata*, *maps* e *rgeos*.

Tabela 15. Exemplo da estrutura do ficheiro global com a organização dos dados.

| ID_Agromap | coord_x | coord_y | ndvi_1 | ndvi_2 | ndvi_3 | ndvi_4 | ndvi_5 | ndvi_6 | ndvi_7 | ndvi_8 | ndvi_maximo |
|------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 42339 | -8.516 | 40.513 | 0.403 | 0.077 | 0.237 | 0.551 | 0.472 | 0.532 | 0.005 | 0.481 | 0.551 |
| 42426 | -8.505 | 40.540 | 0.454 | 0.192 | 0.284 | 0.600 | 0.352 | 0.562 | 0.009 | 0.511 | 0.600 |
| 42428 | -8.660 | 40.166 | 0.610 | 0.143 | 0.699 | 0.763 | 0.665 | 0.776 | -0.001 | 0.737 | 0.776 |
| 42430 | -8.604 | 40.190 | 0.606 | 0.034 | 0.776 | 0.756 | 0.685 | 0.749 | -0.010 | 0.718 | 0.776 |
| 42432 | -8.593 | 40.194 | 0.604 | 0.146 | 0.785 | 0.757 | 0.685 | 0.759 | -0.004 | 0.731 | 0.785 |
| 42434 | -8.595 | 40.202 | 0.629 | 0.097 | 0.804 | 0.775 | 0.707 | 0.773 | -0.006 | 0.746 | 0.804 |
| 42436 | -8.591 | 40.199 | 0.628 | 0.085 | 0.804 | 0.777 | 0.709 | 0.773 | -0.005 | 0.748 | 0.804 |
| 42438 | -8.581 | 40.209 | 0.624 | 0.058 | 0.811 | 0.770 | 0.690 | 0.784 | -0.004 | 0.738 | 0.811 |
| 42440 | -8.544 | 40.210 | 0.611 | 0.052 | 0.805 | 0.765 | 0.672 | 0.772 | -0.004 | 0.711 | 0.805 |
| 42442 | -8.593 | 40.864 | 0.397 | 0.541 | 0.391 | 0.772 | 0.602 | 0.752 | -0.008 | 0.714 | 0.772 |
| 42444 | -8.590 | 40.862 | 0.275 | 0.539 | 0.532 | 0.738 | 0.525 | 0.697 | -0.006 | 0.674 | 0.738 |
| 42446 | -8.593 | 40.856 | 0.523 | 0.350 | 0.713 | 0.729 | 0.623 | 0.736 | -0.013 | 0.670 | 0.736 |
| 42448 | -8.589 | 40.866 | 0.406 | 0.753 | 0.712 | 0.740 | 0.612 | 0.730 | -0.007 | 0.681 | 0.753 |
| 42450 | -8.581 | 40.870 | 0.470 | 0.766 | 0.727 | 0.759 | 0.603 | 0.698 | -0.013 | 0.712 | 0.766 |
| 42452 | -8.569 | 40.839 | 0.523 | 0.752 | 0.754 | 0.730 | 0.611 | 0.714 | -0.009 | 0.660 | 0.754 |
| 42454 | -8.567 | 40.838 | 0.524 | 0.744 | 0.748 | 0.713 | 0.555 | 0.700 | -0.015 | 0.643 | 0.748 |
| 42456 | -8.566 | 40.837 | 0.482 | 0.666 | 0.649 | 0.593 | 0.465 | 0.529 | -0.013 | 0.459 | 0.666 |
| 42458 | -8.556 | 40.866 | 0.454 | 0.681 | 0.226 | 0.698 | 0.625 | 0.705 | -0.002 | 0.671 | 0.705 |

A Tabela final tem 13334 linhas, correspondendo cada uma delas a uma parcela analisada, e 12 colunas. Os parâmetros em análise estão representados nas colunas (ID_Agromap - identificador na plataforma Agromap; coord_x - coordenada “x” do centro da parcela; coord_y - coordenada “y” do centro da parcela; ndvi_1 - valor de NDVI médio da parcela na data de 03/08/2018; ndvi_2 - valor de NDVI médio da parcela na data de 08/08/2018; ndvi_3 - valor de NDVI médio da parcela na data de 13/08/2018; ndvi_4 - valor de NDVI médio da parcela na data de 18/08/2018; ndvi_5 - valor de NDVI médio da parcela na data de 23/08/2018; ndvi_6 - valor de NDVI médio da parcela na data de 26/08/2018; ndvi_7 - valor de NDVI médio da parcela na data de 28/08/2018; ndvi_8 - valor de NDVI médio da parcela na data de 31/08/2018; ndvi_máximo - valor de NDVI máximo nas datas consideradas).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Variação temporal do NDVI

A análise estatística descritiva (Tabela 16) permite fazer uma abordagem inicial à variação temporal das métricas relativas aos valores do NDVI, no conjunto das parcelas em estudo. Para cada uma das datas é apresentado o valor do NDVI mínimo, NDVI máximo, NDVI médio, o 1º e 3º quartil, a mediana e o desvio padrão.

Tabela 16. Estatística descritiva do NDVI em diferentes datas, no conjunto das parcelas em estudo

| Data (2018) | Mínimo | 1º Quartil | Mediana | Média | 3º Quartil | Máximo | Desvio Padrão |
|-------------|--------|------------|---------|-------|------------|--------|---------------|
| 03/08 | -0.116 | 0.384 | 0.470 | 0.441 | 0.525 | 0.694 | 0.120 |
| 08/08 | -0.004 | 0.206 | 0.524 | 0.457 | 0.702 | 0.843 | 0.267 |
| 13/08 | 0.005 | 0.340 | 0.552 | 0.509 | 0.698 | 0.838 | 0.218 |
| 18/08 | 0.078 | 0.527 | 0.666 | 0.612 | 0.735 | 0.829 | 0.157 |
| 23/08 | 0.010 | 0.371 | 0.542 | 0.488 | 0.629 | 0.795 | 0.180 |
| 26/08 | 0.153 | 0.603 | 0.697 | 0.661 | 0.752 | 0.837 | 0.119 |
| 28/08 | -0.039 | -0.001 | 0.037 | 0.191 | 0.399 | 0.767 | 0.239 |
| 31/08 | 0.151 | 0.575 | 0.666 | 0.628 | 0.717 | 0.804 | 0.119 |

Em três das oito datas, as imagens de satélite não cobrem a totalidade da área de estudo (Figura 13):

- Nos dias 26 e 31 de agosto as imagens obtidas apenas abrangem as parcelas de uma faixa litoral desde o Alto Minho até à região de Lisboa;
- No dia 28 de agosto parte das parcelas da região do Nordeste Transmontano também não foram abrangidas.

Nas oito datas consideradas destacamos a evolução atípica dos valores do NDVI nas datas de 23 e 28 de agosto (Figura 9). Nestes dias o decréscimo do valor do NDVI está relacionado com a existência de nuvens em algumas regiões da área de estudo, fenómeno particularmente visível na imagem com a distribuição das parcelas, relativa ao dia 28 de agosto (Figura 13). Embora com menor abrangência, a influência das nuvens também se fez sentir nos dias 8 e 13 de agosto, principalmente na Beira Litoral e no Entre Douro e

Minho. O fenómeno das nuvens é visível na geometria dos histogramas de frequências para as datas em causa (Figura 12).

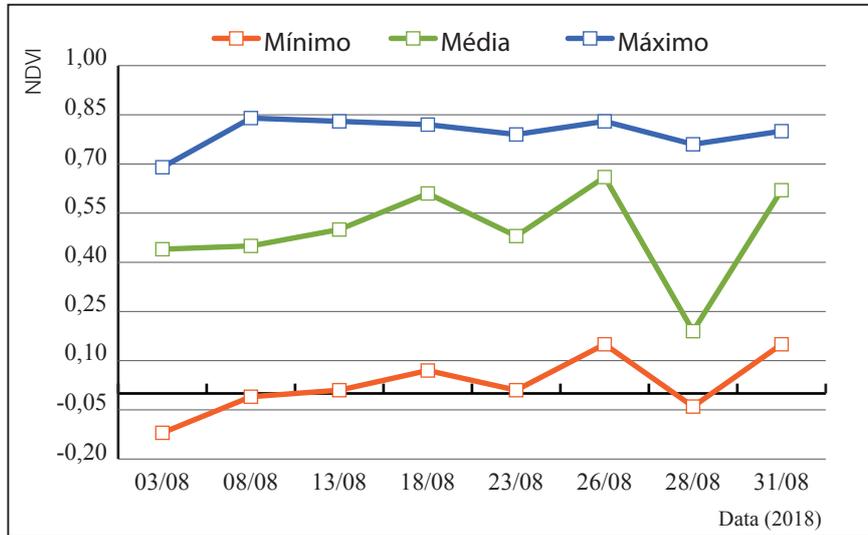


Figura 9. Evolução dos valores do NDVI em cada uma das datas seleccionadas.
Os dados são: NDVI mínimo, NDVI médio e NDVI máximo

A metodologia seguida neste estudo prevê que para cada parcela, no conjunto das oito datas, seja seleccionado o valor do NDVI máximo. Para as parcelas e para as datas em que por influencia das nuvens ou ausência de imagem não tenha sido possível determinar o NDVI, o NDVI máximo das mesmas é obtido a partir das imagens das restantes datas.

Para uma mais eficiente análise do conjunto dos dados e de acordo com a metodologia seguida, os valores do NDVI máximo foram distribuídos por cinco classes. Na Tabela 17 são apresentados os resultados da estatística descritiva referente aos valores do NDVI máximo (por classe e no total).

Tabela 17. Estatística descritiva do NDVI máximo (por classe e no total)

| Variável | Classe do NDVI | | | | | Todas |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| | < 0,2 | >= 0,2 a < 0,4 | >= 0,4 a < 0,6 | >= 0,6 a < 0,8 | >= 0,8 | |
| Mínimo | 0,097 | 0,200 | 0,400 | 0,601 | 0,800 | 0,097 |
| 1º quartil | 0,168 | 0,268 | 0,467 | 0,679 | 0,803 | 0,565 |
| Mediana | 0,181 | 0,317 | 0,522 | 0,730 | 0,808 | 0,693 |
| Média | 0,174 | 0,311 | 0,514 | 0,720 | 0,810 | 0,641 |
| 3º quartil | 0,189 | 0,360 | 0,565 | 0,765 | 0,815 | 0,757 |
| Máximo | 0,199 | 0,399 | 0,599 | 0,799 | 0,843 | 0,843 |
| Desvio Padrão | 0,022 | 0,055 | 0,057 | 0,053 | 0,008 | 0,153 |

O valor médio do NDVI máximo obtido para o conjunto das parcelas, é indicativo da presença de uma cultura com um bom desenvolvimento vegetativo.

Na Tabela 18 é apresentada a distribuição do número de parcelas por classe do NDVI máximo. Da análise dos valores apresentados ressalta o reduzido número de parcelas cujo valor do NDVI máximo é inferior a 0,2. Apenas 107 parcelas, de um total de 13334, apresentam um valor do NDVI máximo que indicia a ausência de qualquer cultura com atividade fotossintética, no conjunto das oito datas. Os valores mais elevados do NDVI máximo, iguais ou superiores a 0,6, representam cerca de 70% das parcelas, o que significa que, no período de tempo considerado, a cultura existente nestas parcelas apresentava um valor do NDVI expectável para a cultura do milho na fase de maior desenvolvimento vegetativo (Raun *et al.*, 2005).

Um número ainda significativo de parcelas, cerca de 19%, apresenta valores do NDVI máximo igual ou superior a 0,4 e inferior a 0,6. Este valor do NDVI significa que nestas parcelas a cultura do milho não está na fase de maior desenvolvimento vegetativo. Tal pode ter sido devido a uma data da sementeira tardia, ao regime hídrico de sequeiro, ou ao desenvolvimento anormal da cultura provocado por dificuldades de germinação, escassez de água e/ou nutrientes ou problemas fitossanitários.

A classe que abrange os valores do NDVI máximo situados entre 0,2 e 0,4, representa 9,5% do total de parcelas. Nestas parcelas e nas datas consideradas, a cultura instalada apresenta valores de NDVI atípicos para a cultura do milho.

Tabela 18. Distribuição do número de parcelas por classe do NDVI máximo

| Limite do NDVI | < 0,2 | >= 0,2 a < 0,4 | >= 0,4 a < 0,6 | >= 0,6 a < 0,8 | >=0,8 | Total |
|--------------------|-------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|
| Número de parcelas | 107 | 1269 | 2595 | 8722 | 641 | 13334 |
| (%) | 0,8 | 9,52 | 19,46 | 65,41 | 4,81 | 100 |

Na Tabela 19 são apresentados os valores médios do NDVI do conjunto de parcelas, por classe e por data. Os dias 26 e 31 têm os registos com os valores médios do NDVI mais elevados. Contudo, nestas datas a cobertura com imagem de satélite apenas abrange as parcelas de uma faixa litoral desde o Alto Minho até à região de Lisboa.

A presença de nuvens nos dias 8, 13, 23 e 28 de agosto, impossibilitou o registo dos valores do NDVI em vastas áreas da zona de estudo. Por este motivo, os registos destes dias, por não incluírem todas as parcelas, não permitem que se conclua sobre a evolução do valor médio do NDVI na área de estudo (Figura 10).

Nos dias 3 e 18 de agosto não houve influência das nuvens e a cobertura da área de estudo por imagem de satélite foi total. Entre estas datas os valores médios do NDVI subiram nas três classes mais elevadas ($\geq 0,4$ a $< 0,6$; $\geq 0,6$ a $< 0,8$; $\geq 0,8$) indiciando um maior vigor vegetativo da cultura no dia 18 de agosto relativamente ao dia 3 do mesmo mês.

Tabela 19. Valores médios do NDVI, por classe e por data, do conjunto de parcelas

| Data (2018) | Classe do NDVI | | | | |
|-------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| | < 0,2 | $\geq 0,2$ a < 0,4 | $\geq 0,4$ a < 0,6 | $\geq 0,6$ a < 0,8 | $\geq 0,8$ |
| 03/08 | 0,119 | 0,322 | 0,497 | 0,614 | - |
| 08/08 | 0,070 | 0,302 | 0,508 | 0,710 | 0,811 |
| 13/08 | 0,114 | 0,305 | 0,506 | 0,706 | 0,809 |
| 18/08 | 0,169 | 0,312 | 0,514 | 0,710 | 0,807 |
| 23/08 | 0,114 | 0,308 | 0,518 | 0,659 | - |
| 26/08 | 0,182 | 0,335 | 0,521 | 0,716 | 0,807 |
| 28/08 | 0,029 | 0,301 | 0,503 | 0,656 | - |
| 31/08 | 0,184 | 0,330 | 0,520 | 0,693 | 0,803 |

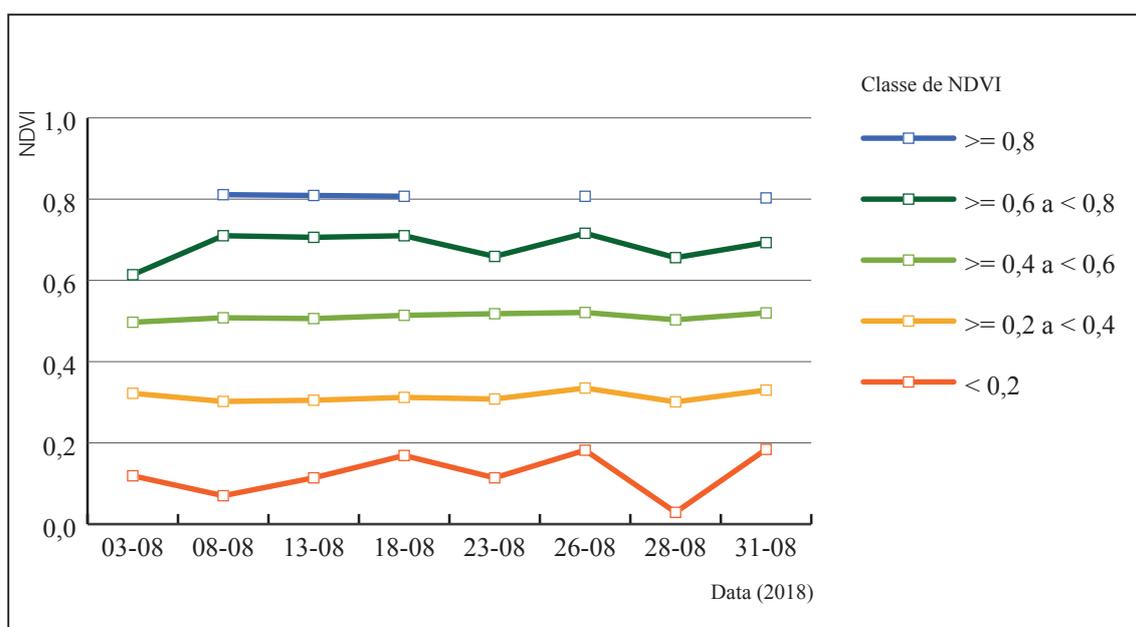


Figura 10. Evolução dos valores do NDVI médio, por escalão e por data, do conjunto de parcelas

O histograma de frequências representado na Figura 11 foi construído com base nos valores do NDVI máximo determinado para o conjunto das parcelas, nas oito datas consideradas. A Figura 11 ilustra bem os resultados apresentados na Tabela 18, confirmando que as classes do NDVI máximo com maior frequência situam-se entre 0,6 e 0,8.

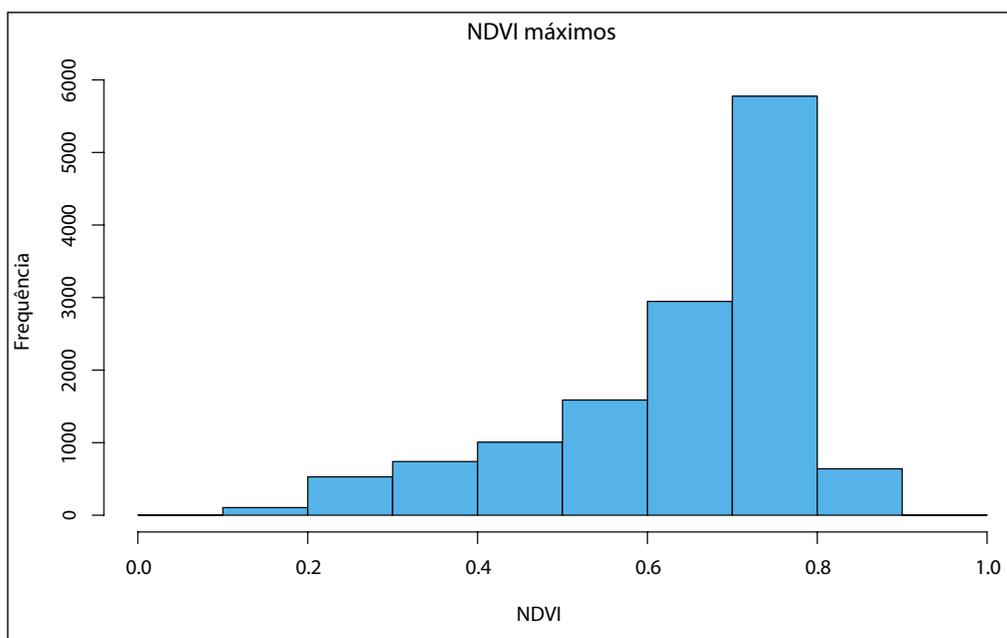


Figura 11. Histograma do índice de vegetação (NDVI) relativo aos valores de NDVI máximo do conjunto de parcelas

Na Figura 12 estão representados os histogramas de frequências dos valores do NDVI médio, por data, do conjunto de parcelas em estudo. A geometria destes histogramas é bastante diversa, resultado da evolução do valor do NDVI da cultura e principalmente pelas situações anómalas anteriormente identificadas: a existência de nuvens nos dias 8, 13, 23, e 28 de agosto em algumas regiões da área de estudo; a não cobertura da imagem de satélite de toda a área de estudo nos dias 26, 28 e 31 de agosto.

Na Figura 13 são apresentados os mapas que mostram a variabilidade espacial do índice NDVI, por data, nas parcelas da área de estudo. Nos mapas com cobertura total e livres dos efeitos das nuvens (dias 3 e 18 de agosto), ressalta a concentração de parcelas com valores do NDVI elevados, nas regiões do Entre Douro e Minho, Beira Litoral e Ribatejo. Por sua vez as parcelas com valores do NDVI mais baixos, estão mais visíveis nas regiões da Beira

Alta e Trás os Montes. Nos mapas da Figura 13 também estão ilustradas as anomalias mencionadas anteriormente (existência de nuvens em algumas regiões e falta de cobertura por imagem de satélite).

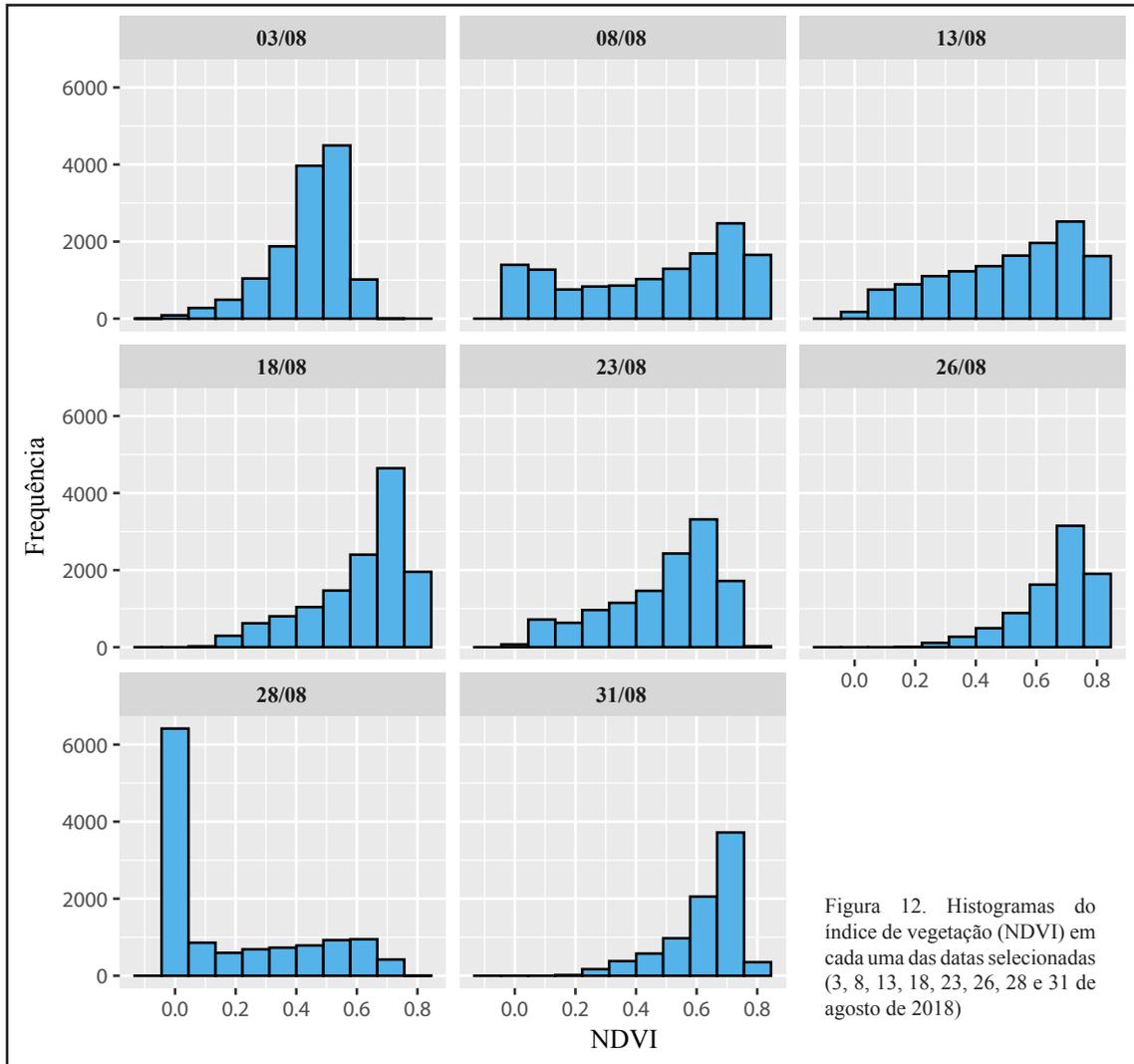


Figura 12. Histogramas do índice de vegetação (NDVI) em cada uma das datas selecionadas (3, 8, 13, 18, 23, 26, 28 e 31 de agosto de 2018)

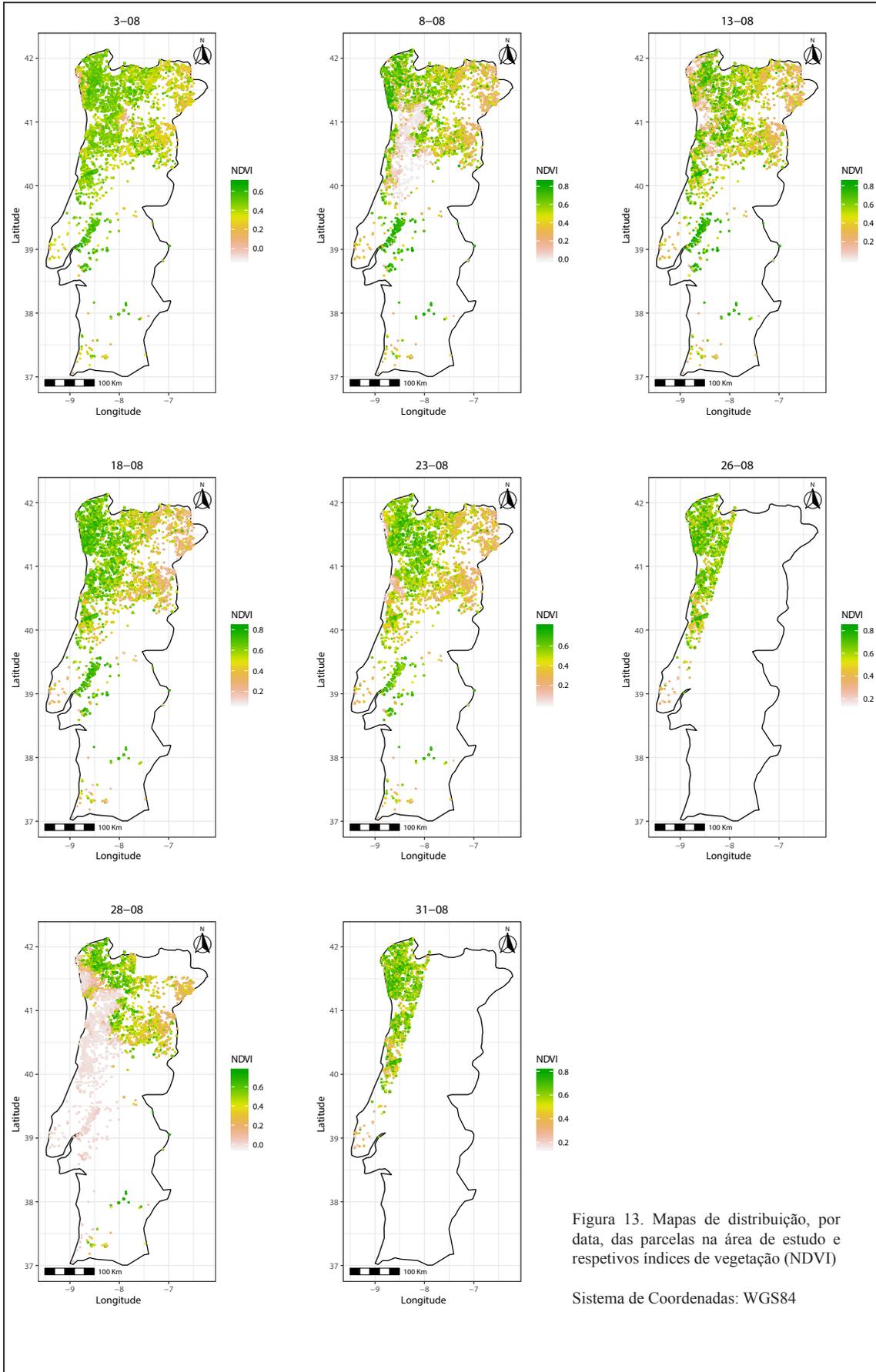


Figura 13. Mapas de distribuição, por data, das parcelas na área de estudo e respectivos índices de vegetação (NDVI)

Sistema de Coordenadas: WGS84

5.2. Variação espacial do NDVI

A Tabela 20 resume a distribuição do número de parcelas, por classe de NDVI máximo e por distrito. Nas duas primeiras classes de NDVI máximo ($< 0,2$; $\geq 0,2$ a $< 0,4$) os distritos com maior percentagem de parcelas são: Bragança, Guarda e Vila Real. Para a primeira classe de valores do NDVI máximo ($< 0,2$), o conjunto destes distritos representa 95% do total de parcelas desta classe. Para a segunda classe ($\geq 0,2$ a $< 0,4$), estes três distritos representam 80% do total de parcelas desta classe. Na terceira classe ($\geq 0,4$ a $< 0,6$), 79% das parcelas localizam-se em seis distritos: Vila Real, Viseu, Coimbra, Aveiro, Guarda e Bragança. Destaca-se que três destes distritos, são os mais representativos nas classes anteriores (Bragança, Guarda e Vila Real), e os restantes (Viseu, Coimbra e Aveiro) pertencem todos à região da Beira Litoral.

Tabela 20. Distribuição do número de parcelas, por classe de NDVI, e por distrito

| | < 0,2 | | $\geq 0,2$ a < 0,4 | | $\geq 0,4$ a < 0,6 | | $\geq 0,6$ a < 0,8 | | > 0,8 | | |
|----------|-----------|-----|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|------------|-----|--|
| Distrito | Bragança | 78 | Bragança | 424 | Vila Real | 573 | Aveiro | 1762 | Porto | 174 | |
| | Guarda | 21 | Guarda | 397 | Viseu | 350 | Braga | 1676 | Braga | 133 | |
| | Vila Real | 3 | Vila Real | 188 | Coimbra | 306 | Porto | 1364 | Coimbra | 108 | |
| | Beja | 3 | Coimbra | 78 | Aveiro | 305 | V. Castelo | 944 | Santarém | 96 | |
| | Santarém | 1 | Viseu | 69 | Guarda | 286 | Coimbra | 940 | Aveiro | 71 | |
| | Faro | 1 | Aveiro | 51 | Bragança | 241 | Santarém | 632 | V. Castelo | 42 | |
| | | | Lisboa | 14 | Braga | 169 | Viseu | 594 | Viseu | 7 | |
| | | | Faro | 9 | V. Castelo | 150 | Vila Real | 432 | Setubal | 5 | |
| | | | Leiria | 9 | Porto | 111 | Guarda | 119 | Beja | 4 | |
| | | | Braga | 7 | Leiria | 42 | Leiria | 83 | Guarda | 1 | |
| | | | Santarém | 6 | Santarém | 25 | Bragança | 53 | | | |
| | | | Porto | 5 | Lisboa | 15 | Beja | 50 | | | |
| | | | Beja | 3 | Faro | 12 | Setubal | 48 | | | |
| | | | Portalegre | 3 | Beja | 6 | Portalegre | 12 | | | |
| | | | Setubal | 3 | Portalegre | 2 | Lisboa | 10 | | | |
| | | | V. Castelo | 3 | Setubal | 2 | Faro | 3 | | | |
| | Total | 107 | | 1269 | | 2595 | | 8722 | | 641 | |

Nas duas classes de NDVI máximo mais elevado ($\geq 0,6$ a $< 0,8$; $> 0,8$), a maior concentração de parcelas, respetivamente 84 e 97%, ocorre em seis distritos das regiões do Entre Douro e Minho, Beira Litoral e Ribatejo (Viana do Castelo, Braga, Porto, Aveiro, Coimbra e Santarém).

Nos mapas de dispersão do NDVI das Figuras 14 e 15 está ilustrada a variação espacial do índice NDVI máximo. É visível a evolução e o aumento da concentração de parcelas com os valores mais elevados do NDVI do interior para o litoral (Figura 14). Na Figura 15 é visível a concentração de parcelas com os valores do NDVI mais elevados nas principais zonas de produção de milho, respetivamente e de sul para norte: zona do alqueva no baixo Alentejo, Ribatejo, vale do Mondego, região de Aveiro e o Entre Douro e Minho.

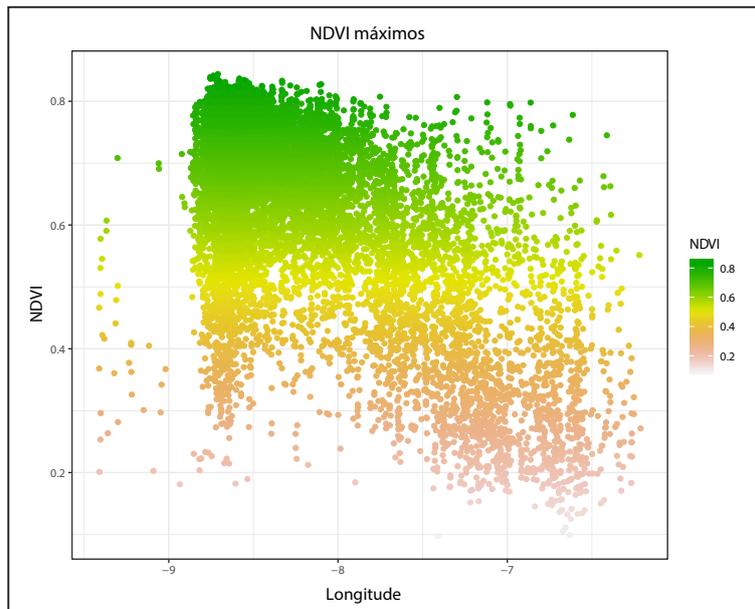


Figura 14. Gráfico com a dispersão dos valores do NDVI máximo em função da longitude

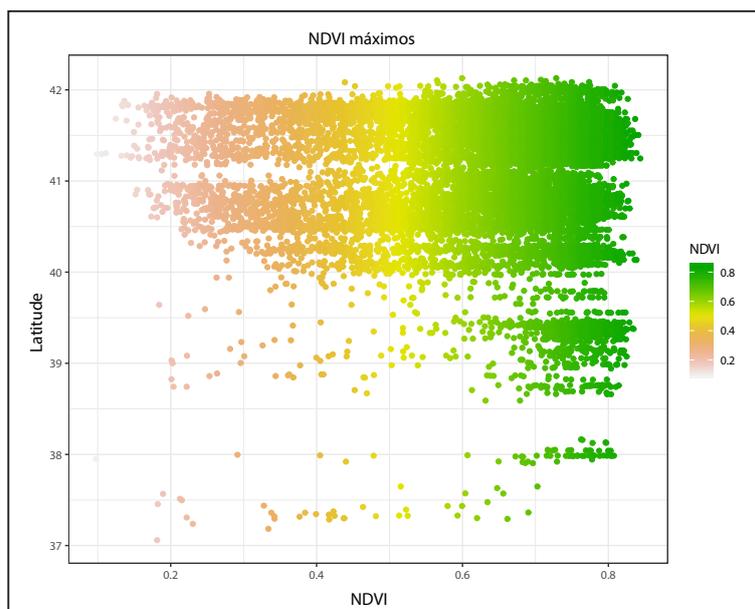
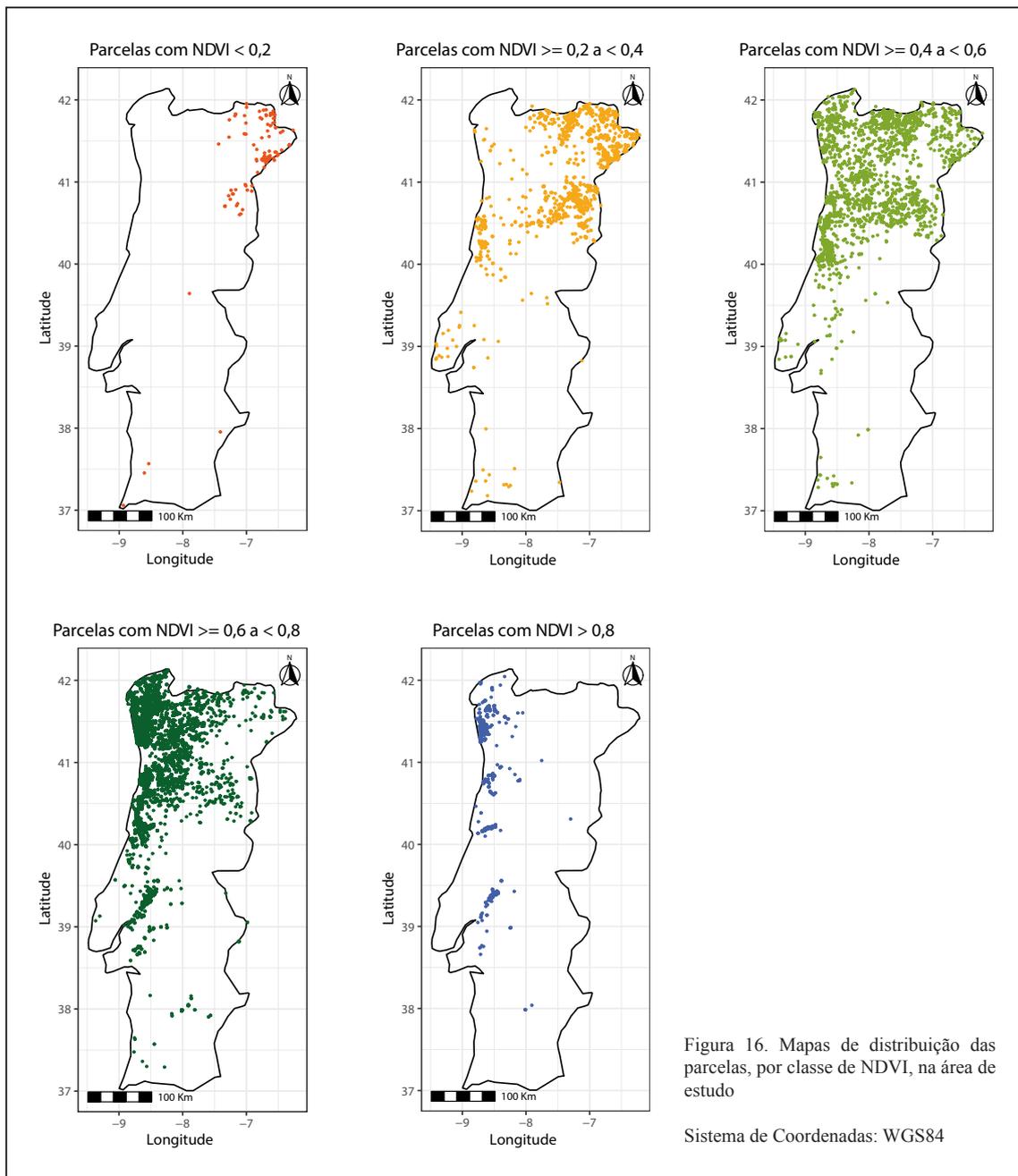


Figura 15. Gráfico com a dispersão dos valores do NDVI máximo em função da latitude

Os mapas da Figura 16 ilustram a distribuição espacial das parcelas de acordo com a classe de NDVI máximo. As parcelas com valores do NDVI máximo mais elevado ($\geq 0,6$) situam-se nas regiões com maior disponibilidade de recursos hídricos que potenciam o regadio: no Entre Douro e Minho, derivado das condições edafoclimáticas, na Beira Litoral, no Ribatejo e no Alentejo devido à existência de infraestruturas coletivas de regadio. Uma parte significativa das parcelas com valores de NDVI máximo inferiores a 0,4 situam-se nas regiões do Nordeste Transmontano e Beira Alta.



Na Figura 17 está representada, por distrito, a distribuição percentual do número de parcelas, por classe do NDVI máximo. Destacam-se os distritos de Bragança e Guarda em que, percentualmente, as duas primeiras classes de NDVI máximo ($< 0,2$; $\geq 0,2$ a $< 0,4$) representam, respetivamente, cerca de 63 e 51% do número total de parcelas.

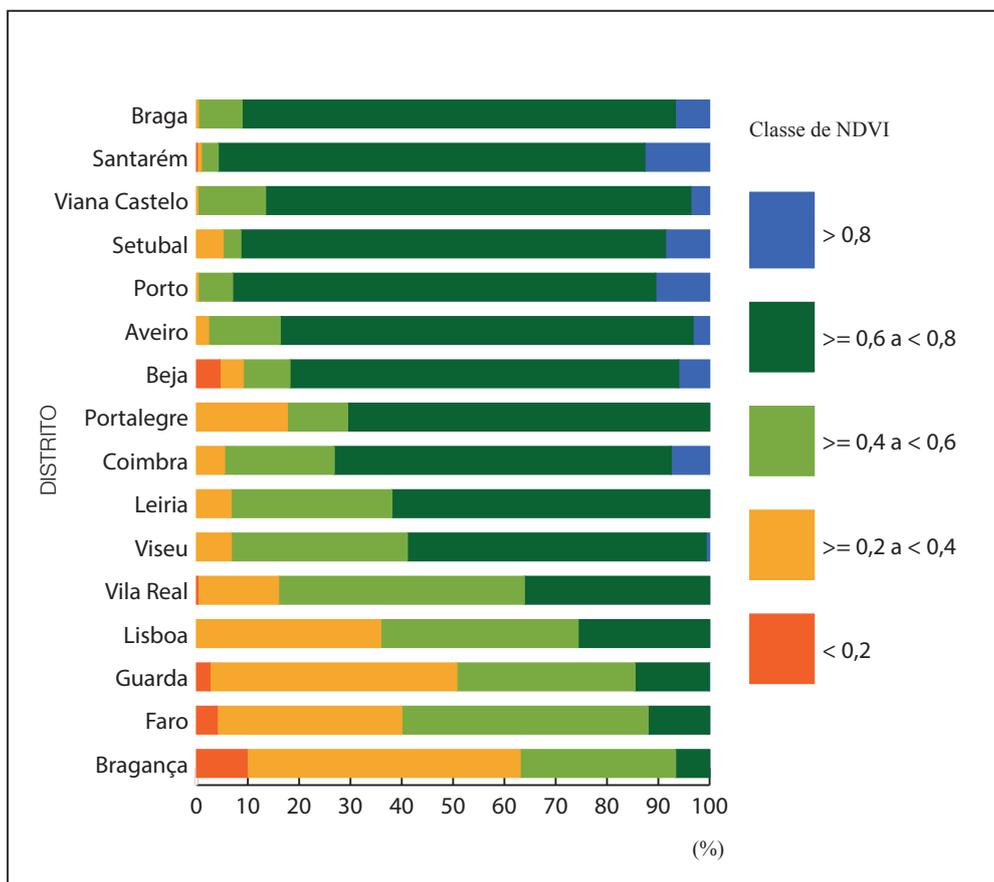


Figura 17. Distribuição percentual do número de parcelas segundo a classe do NDVI máximo e por distrito

Os distritos de Bragança e Guarda estão incluídos em regiões onde o milho produzido em regime de sequeiro tem forte expressão. De acordo com os dados do IFAP para a campanha de 2018 (Anexo II), nas regiões de Trás-os-Montes, Alto Tâmega e Beiras, a percentagem da área de milho de sequeiro relativamente à área total de milho é, respetivamente, 97, 51 e 60%.

A Tabela 21 identifica e resume os concelhos com maior número de parcelas incluídas nas duas primeiras classes de NDVI máximo ($< 0,2$; $\geq 0,2$ a $< 0,4$). Estes concelhos, à exceção de Valpaços (Alto Tâmega), pertencem todos às regiões de Trás-os-Montes e Beiras. Nestes concelhos, de acordo com os dados do IFAP (IFAP, 2019c) a área de milho de sequeiro é largamente dominante relativamente à área de regadio (Tabela 22).

Tabela 21. Número de parcelas por classe do NDVI máximo (< 0,2 ; >= 0,2 a < 0,4) e por concelho

| | | <0,2 | >= 0,2 a < 0,4 |
|----------|--------------------|------|-----------------------|
| Concelho | Mogadouro | 29 | Mogadouro 118 |
| | Bragança | 25 | Bragança 110 |
| | Vinhais | 9 | Pinhel 107 |
| | F. Castelo Rodrigo | 5 | Valpaços 81 |
| | Mêda | 5 | F. Castelo Rodrigo 51 |
| | Vimioso | 5 | Macedo Cavaleiros 49 |
| | Outros | 29 | Outros 753 |
| | Total | 107 | 1269 |

Tabela 22. Resumo das áreas (ha) de milho de sequeiro e regadio nos concelhos com valores do NDVI máximo < 0,4

| | | Sequeiro (ha) | Regadio (ha) | % (Sequeiro) |
|----------|--------------------|---------------|--------------|--------------|
| Concelho | Mogadouro | 774 | 4 | 99 |
| | Bragança | 535 | 24 | 96 |
| | Pinhel | 624 | 121 | 84 |
| | Vinhais | 295 | 8 | 97 |
| | Macedo Cavaleiros | 279 | 6 | 98 |
| | F. Castelo Rodrigo | 275 | 32 | 90 |
| | Mêda | 210 | 34 | 86 |
| | Valpaços | 150 | 76 | 66 |
| | Vimioso | 44 | 1 | 98 |
| Total | 3186 | 306 | 91 | |

O desenvolvimento da cultura do milho em condições de sequeiro, para além de obrigar a usar densidades de sementeira mais baixas, potencia as situações de stress hídrico para a planta. A menor cobertura vegetal do solo e a redução da atividade fotossintética da planta, derivada da escassez de água, origina baixos índices de vegetação. Os baixos valores do NDVI máximo observados nestes concelhos nas oito datas consideradas, podem por isso resultar da escassez de água. Por outro lado, em condições de sequeiro a data de sementeira tende a ser antecipada, e conseqüentemente a data de colheita, podendo a cultura já não estar no terreno em nenhuma das datas observadas.

5.3. Validação das parcelas

A informação relativa à ocupação cultural (milho) das 13334 parcelas agrícolas em estudo, foi fornecida pelo IFAP e teve origem nos resultados das ações de controlo de campo, realizados no âmbito do SIGC, para a campanha de 2018. No presente estudo pretende-se confirmar, através de técnicas de deteção remota, a presença da cultura de milho nestas parcelas, com base nos valores de NDVI obtidos nas oito datas consideradas.

No ano de 2018 o IFAP obteve uma nova cobertura de ortofotos de Portugal Continental, cujos trabalhos decorreram entre os meses de junho e outubro de 2018. A plataforma ISIP (Sistema de Identificação Parcelar) do IFAP, atualmente, utiliza as orto imagens que resultaram do voo de 2018.

Aproveitando o facto das atuais orto imagens da plataforma ISIP terem origem num voo realizado em datas que, variando de região para região, coincidem com uma fase de elevado desenvolvimento vegetativo do milho, decidiu-se comparar os mapas de evolução temporal do valor do NDVI de algumas parcelas, com as correspondentes orto imagens da plataforma ISIP (Figuras 18, 19 e 20).

Foi utilizada a versão pública do ISIP onde é possível, entre outros, visualizar as orto imagens e consultar a seguinte informação: limites das parcelas identificadas, ocupações de solo e algumas condicionantes aplicáveis às parcelas (IFAP, 2019d).

Os mapas das Figuras 18, 19 e 20 mostram a variabilidade temporal do índice NDVI (médio), entre três datas consideradas, para nove de um conjunto de sessenta parcelas da área de estudo. Estes mapas foram produzidos pela plataforma *Agromap*. Para cada parcela foi obtida a orto imagem respetiva, disponível na versão pública do ISIP. A seleção das parcelas procurou ilustrar situações com diferentes valores do NDVI (médio). No Anexo III estão representadas as restante parcelas para as quais foi aplicado o mesmo procedimento.

Na Figura 18 estão representados os mapas dos índices de vegetação de três parcelas cujo valor de NDVI (médio) é inferior a 0,2 em qualquer das datas consideradas. As três orto imagens correspondentes, retiradas da versão pública do ISIP, não fornecem evidências que confirmem a existência de uma cultura em pleno desenvolvimento vegetativo. Ressalva-se que duas destas orto imagens foram obtidas na última semana de junho.

Na Figura 19 estão representados os mapas dos índices de vegetação de três parcelas cujo valor de NDVI (médio) é superior a 0,2 e inferior a 0,4, em qualquer das datas consideradas. Esta série de parcelas tem orto imagens que foram obtidas em datas mais próximas do período de tempo considerado neste estudo. Apesar disso, à exceção da parcela com o ID_*Agromap*: 42693 que apresenta zonas já com alguma cobertura vegetal, as orto imagens não fornecem evidências que confirmem a existência de uma cultura em pleno desenvolvimento vegetativo.

Na Figura 20 estão representados os mapas dos índices de vegetação de três parcelas cujo valor de NDVI (médio) é superior a 0,4 em qualquer das datas consideradas. As orto imagens desta série de parcelas mostram evidências que indiciam um estado mais avançado de desenvolvimento vegetativo da cultura instalada, a que correspondem valores mais elevados de NDVI.

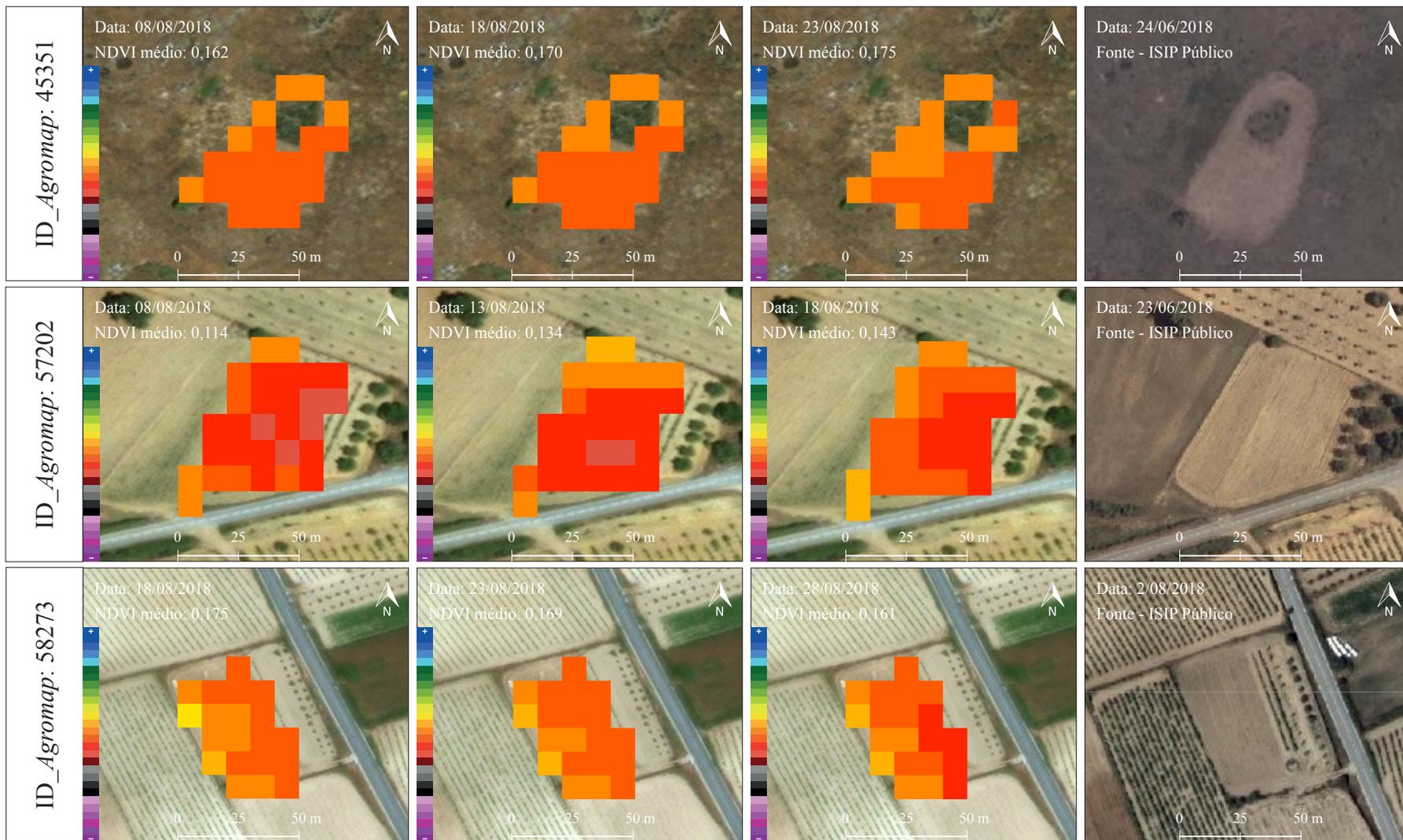


Figura 18. Evolução temporal do valor do NDVI (valores inferiores a 0,2) para três parcelas da área de estudo

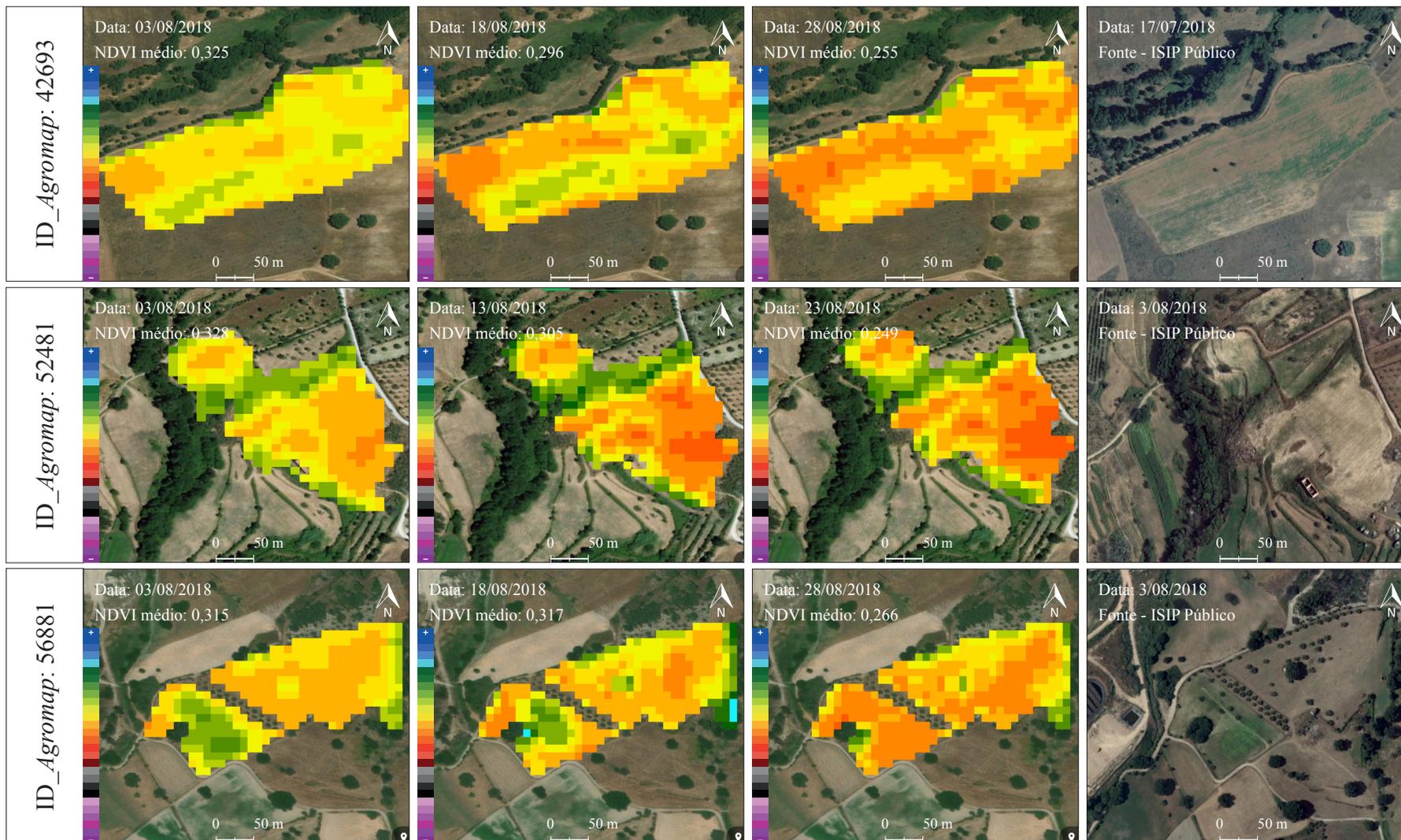


Figura 19. Evolução temporal do valor do NDVI (valores superiores a 0,2 e inferiores a 0,4) para três parcelas da área de estudo

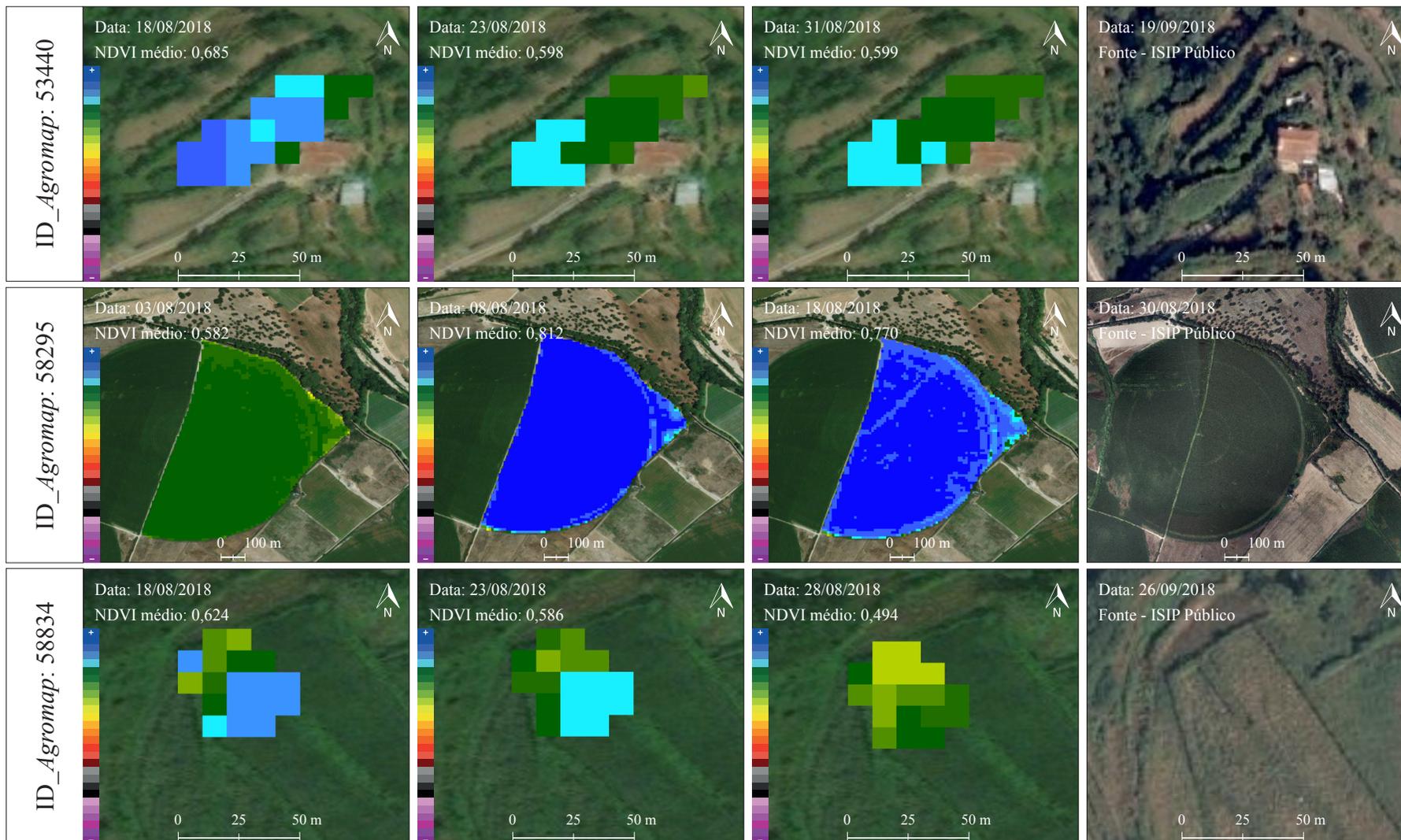


Figura 20. Evolução temporal do valor do NDVI (valores superiores a 0,4) para três parcelas da área de estudo

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste estudo pretendeu-se avaliar o potencial dos dados das imagens do satélite Sentinel 2 para confirmar, com técnicas de detecção remota, a presença da cultura de milho na amostra de parcelas controladas e confirmadas em campo na campanha de 2018 pelo IFAP.

A confirmação no terreno da presença de um determinado tipo de cultura nas parcelas candidatas às ajudas no âmbito da PAC, é fundamental para concluir da elegibilidade dessas áreas a determinada ajuda ou regime de apoio.

A abordagem seguida neste estudo baseou-se no potencial que o índice de vegetação NDVI apresenta para monitorizar a evolução do padrão espacial e temporal do estado vegetativo do milho, ao longo das oito datas consideradas e na totalidade das parcelas fornecidas pelo IFAP.

Sendo o NDVI um índice vegetativo diretamente associado à quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa, expresso no vigor das plantas, a metodologia seguida nesta dissertação assentou na análise da evolução temporal e espacial deste índice na área de estudo, relacionando-o com o vigor vegetativo da cultura instalada, inferindo a presença de uma cultura com o padrão de NDVI típico do milho. As seguintes conclusões podem ser retiradas dos resultados deste estudo:

1. A metodologia seguida permite identificar as parcelas que, de acordo com o valor do NDVI, apresentam anomalias que sugerem a inexistência da cultura do milho. Neste estudo cerca de 10% das parcelas estão nesta situação, sendo recomendável nestes casos proceder a inspeções físicas no terreno para confirmar, ou não, a declaração do agricultor.
2. Para uma percentagem significativa de parcelas, cerca de 19%, os valores do NDVI não são conclusivos quanto à existência de milho nestas parcelas. Para estas parcelas e em cenários reais, afigura-se oportuno utilizar cumulativamente outras abordagens:
 - Considerar o uso de outros índices vegetativos e períodos de recolha de informação mais longos;
 - Considerar outros elementos de prova, apresentados pelo agricultor e a pedido da autoridade competente, que permitam concluir sobre o tipo de cultura existente.

Caso estes elementos de prova não conduzam a resultados conclusivos, devem ser realizadas inspeções físicas no terreno para confirmar, ou não, a declaração do agricultor.

3. A informação obtida permite confirmar a presença de uma cultura com elevado vigor vegetativo em cerca de 70 % das parcelas. Fora do contexto desta dissertação, em que se sabe que a cultura controlada foi o milho, esta evidência por si só não permite concluir com total segurança quanto ao tipo de cultura. Para que a metodologia seguida nesta dissertação possa ser aplicada em cenários reais é necessário repensar completamente o papel do agricultor neste processo, tornando-o num elemento colaborativo e o principal fornecedor de dados e evidências da sua atividade agrícola, que complementem a informação obtida por deteção remota pela autoridade competente. A título de exemplo podem-se enumerar as seguintes fontes de dados com origem no agricultor: fotos georreferenciadas, imagens aéreas capturadas por drones e cartas de produtividade.
4. A aplicação de uma metodologia hierárquica priorizando numa primeira abordagem a utilização de indicadores (índices de vegetação) simples e fáceis de aplicar, permite excluir com relativa segurança uma percentagem significativa de parcelas da amostra de controlo, reduzindo a necessidade de inspeções físicas no terreno.

Os resultados obtidos neste estudo abrem boas perspectivas relativamente ao uso dos dados dos satélites Sentinel 2 na monitorização das ajudas da PAC. Quando a abordagem baseada em indicadores simples não conduzir a resultados conclusivos, sugere-se a aplicação de uma metodologia mais densa, que utilize um maior número de índices remotos e uma maior capacidade de processamento em virtude da necessidade de utilização de séries temporais mais longas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aggarwal, S. (2004). Principles of Remote Sensing. [In: Sivakumar M.V.K. *et al.* (eds) Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. World Meteorological Organization. Geneva].

ANPROMIS. (2019). O Milho. Último acesso em 08/10/2019 - <http://www.anpromis.pt/o-milho.html>

Atzberger, C. (2013). Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sens.* 5, 949-981.

Bakker, W. H., Janssen, L.L.F., Reeves, C.V., Gorte, B. G. H., Pohl, C., Weir, M. J. C., Horn, J. A., Prakash, A., Woldai, T. (2001). Principles of remote sensing : an introductory textbook. Enschede, The Netherlands: ITC Educational Textbook Series.

Barros e Calado (2014). O Milho - Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias Agropecuários, Tecnologia do Solo e das Culturas, Noções Básicas de Agricultura e Fundamentos de Agricultura Geral. Universidade de Évora.

Belgiu, M., & Csillik, O. (2018). Sentinel 2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis. *Remote Sensing of Environment*, 204(January 2017), 509–523. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.005>

Box, E., Holben, B., Kalb, V., (1989). Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux. *Vegetation* 80, 71/89.

CCRS. (2016). Natural Resources Canada - Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing. Último acesso em 19/03/2019 - <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9309>

CE. (2018a). Comissão Europeia - Joint Research Centre, Plataforma “PILOT4CAP”. Último acesso em 30/07/2019 - <https://g4cap.jrc.ec.europa.eu/g4cap/Default.aspx?tabid=354>

CE. (2018b). Comissão Europeia - A política agrícola comum. Último acesso em 01/08/2019 - <https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common->

agricultural-policy/cap-glance_pt

CE. (2018c). Comissão Europeia - Sistema integrado de gestão e de controlo. Último acesso em 01/08/2019 - https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/income-support/controls-and-transparency/managing-payments_pt

CE. (2018d). Comissão Europeia - Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by Member States under the Common agricultural policy (CAP Strategic Plans). Último acesso em 07/08/2019 - https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/budget-may2018-cap-strategic-plans_en.pdf

CE. (2019). Comissão Europeia - Agricultural monitoring. Último acesso em 17/08/2019 - <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/agricultural-monitoring>

De Castro, A., Six, J., Plant, R., & Peña, J. (2018). Mapping Crop Calendar Events and Phenology-Related Metrics at the Parcel Level by Object-Based Image Analysis (OBIA) of MODIS-NDVI Time-Series: A Case Study in Central California. *Remote Sensing*, 10(11), 1745. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs10111745>

Devos, W., Fasbender, D., Lemoine, G., Loudjani, P., Milenov, P., & Wirnhardt, C. (2017). Discussion document on the introduction of monitoring to substitute OTSC, 2017, ISBN 978-92-79-74279-8, doi:10.2760/258531

Devos, W., Fasbender, D., Lemoine, G., Loudjani, P., Milenov, P., & Wirnhardt, C. (2018). Second discussion document on the introduction of monitoring to substitute OTSC: rules for processing applications in 2018-2019. EUR 29369 EN. Publications Office of the European Union, Ispra, 2018, doi:10.2760/344612

DHI GRAS. (2019) - Monitoring agricultural fields using satellite images. Último acesso em 06/08/2019. https://www.dhi-gras.com/projects/monitoring_agricultural_fields/

Diário da República n.º 52/2018, Série I de 14-03-2018 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 36/2018

Dusseux, P.; Moy-Hubert, L.; Corpetti, T. e Vertes, F. (2015) - Evaluation of SPOT

imagery for the estimation of grassland biomass. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 38, p. 72-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.12.003>

ESA. (2012). *Sentinel 2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. European Space Agency. AG Noordwijk, The Netherlands: ESA Communications.

ESA. (2019). *Satellite Constellation*. Último acesso em 11/07/2019. https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Satellite_constellation

Fung, T. & Siu, W. (2000). Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI, *International Journal of Remote Sensing*, 21:5, 1011-1024. <https://doi.org/10.1080/014311600210407>

Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J. and Dextraze, L., (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote sensing of environment* 81(2-3), pp.416–426

Hanway, John J., (1966). *How a corn plant develops*. Special Report. Ames, IA, Iowa State University. Cooperative Extension Service. <https://lib.dr.iastate.edu/specialreports/38>

IFAP (2019a). Portal do IFAP - Sistema Integrado de Gestão e Controlo. Último acesso em 02/08/2019 - <https://www.ifap.pt/sigc-regras>

IFAP (2019b). Portal do IFAP - O IFAP, Quem somos. Último acesso em 02/08/2019 - <https://www.ifap.pt/web/guest/o-ifap2>

IFAP (2019c). Portal do IFAP - Estatísticas relativas a candidaturas da campanha 2018, por Região Agrária e por NUT e Concelho. Último acesso em 19/03/2019 - <https://www.ifap.pt/dados-candidaturas2018>

IFAP (2019d). Portal do IFAP - ISIP, Portal Público. Último acesso em 25/10/2019 - <https://publico-isip.ifap.pt/>

ISPRS *International Journal of Geo-Information*, 7(10), 405. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi7100405>

Jakubauskas, M., Legates, D., & Kastens, J. (2002). Crop identification using harmonic analysis

- of time-series AVHRR NDVI data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37, 127–139.
- Kanjir, U., Đurić, N., & Veljanovski, T. (2018). Sentinel 2 Based Temporal Detection of Agricultural Land Use Anomalies in Support of Common Agricultural Policy Monitoring.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., & Chipman, J. W. (2007). *Remote Sensing and Image Interpretation* (Sixth Edition). NY.: John Wiley & Sons Inc.
- Lira, C., Amorim, A., Silva, A. N. e Taborda, R., (2016). *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite*. Lisboa, Portugal: DGRM
- Loveland, T. R., Merchant, J. W., Ohlen, D. O., and Brown, J.F. (1991). Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U.S. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(11), 1453–1463.
- MAPA. (2019). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España. Último acceso em 30/07/2019 - <https://www.mapa.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/El-Ministerio-de-Agricultura,-Pesca-y-Alimentaci%C3%B3n-presenta-las-novedades-tecnol%C3%B3gicas-para-una-mejor-gesti%C3%B3n-de-la-PAC-a-partir-de-la-campa%C3%B1a-2019-/tcm:30-508073>
- Meneses, P.R. & Almeida, T. (2012). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília, Brasil.
- NASA. (2013). The Electromagnetic Spectrum. Último acesso em 19/03/2019 - <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>
- Raun, William & Solie, J. & Martin, K. & Freeman, K. & Stone, M. & Johnson, G. & Mullen, R.. (2005). Growth Stage, Development, and Spatial Variability in Corn Evaluated Using Optical Sensor Readings. *Journal of Plant Nutrition - J PLANT NUTR.* 28. <https://doi.org/10.1081/PLN-200042277>
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W., (1974). Monitoring vegetationsystems in the Great Plains with ERTS. In3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317
- Sabins, Floyd F. (1987). *Remote Sensing - Principles and Interpretation* (Second Edition). New York, United States: W. H. Freeman and Company.

- Sakamoto, Toshihiro & Yokozawa, Masayuki & Toritani, Hitoshi & Shibayama, Michio & Ishitsuka, Naoki & Ohno, Hiroyuki. (2005). A crop phenology detection method using time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. 96. 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.008>
- Schmedtmann, J.; Campagnolo, M.L. (2015). Reliable Crop Identification with Satellite Imagery in the Context of Common Agriculture Policy Subsidy Control. *Remote Sens.* 7, 9325-9346.
- Serrano, João & Barreto, Sérgio & Shahidian, Shakib & Marques Da Silva, José. (2016). Avaliação do sensor óptico de vegetação OptRx® na monitorização da variabilidade espacial e temporal de pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*. 39. 261-280. <https://doi.org/10.19084/RCA15101>
- Shanmugapriya, P., S. Rathika, T. Ramesh and Janaki, P. (2019). Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 8(01): 2270-2283. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.238>
- Sousa, A. e Marques da Silva, J. R. (2011). *Fundamentos Teóricos da Deteção Remota* - Universidade de Évora, Évora.
- UE. (2014). União Europeia - Regulamento de Execução (UE) 809/2014 da Comissão de 17 de julho de 2014.
- UE. (2018). União Europeia - Regulamento de Execução (UE) 2018/746 da Comissão de 18 de maio de 2018.
- UE. (2019). União Europeia - O financiamento da PAC. Último acesso em 16/07/2019 - <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/106/o-financiamento-da-pac>
- Verstraete, M.M.; Gobron, N.; Ausedat, O.; Robustelli, M.; Pinty, B.; Widlowski, J.-L.; Taberner, M. (2008). An automatic procedure to identify key vegetation phenology events using the JRC-FAPAR products. *Adv. Space Res.* 41, 1773–1783.
- Wardlow, Brian & Egbert, Stephen & Kastens, Jude. (2007). Analysis of Time-Series MODIS 250 m Vegetation Index Data for Crop Classification in the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*. 108. 290-310. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.021>

ANEXOS

Anexo I. Distribuição do número de parcelas por distrito e área média por distrito

| Distrito | Nº de Parcelas | Área média (ha) |
|-----------------------|----------------|-----------------|
| Aveiro | 2189 | 0,43 |
| Beja | 66 | 7,18 |
| Braga | 1985 | 0,61 |
| Bragança | 796 | 0,41 |
| Coimbra | 1432 | 0,67 |
| Faro | 25 | 0,27 |
| Guarda | 824 | 0,41 |
| Leiria | 134 | 0,53 |
| Lisboa | 39 | 1,03 |
| Portalegre | 17 | 6,53 |
| Porto | 1654 | 0,98 |
| Santarém | 760 | 3,00 |
| Setubal | 58 | 8,86 |
| Viana do Castelo | 1139 | 0,24 |
| Vila Real | 1196 | 0,22 |
| Viseu | 1020 | 0,21 |
| Total Nacional | 13334 | 0,72 |

Anexo II. Distribuição das áreas de milho de sequeiro e regadio por NUTII (Norte e Centro) (Dados declarativos - IFAP, 2019c)

| NUT | Região | Sequeiro (ha) | Regadio (ha) | |
|----------------------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|
| NUTII Norte | Área Metropolitana do Porto | 122 | 12342 | |
| | Alto Tâmega | 1618 | 1558 | |
| | Tâmega e Sousa | 43 | 3817 | |
| | Douro | 317 | 486 | |
| | Trás-os-Montes | 2222 | 76 | |
| | Alto Minho | 581 | 2945 | |
| | Cávado | 1495 | 9001 | |
| | Ave | 603 | 4123 | |
| | Total | | 7001 | 34348 |
| | NUT II Centro | Oeste | 86 | 186 |
| Região de Aveiro | | 816 | 6415 | |
| Região de Coimbra | | 254 | 6871 | |
| Região de Leiria | | 133 | 1015 | |
| Viseu Dão Lafões | | 411 | 2158 | |
| Beira Baixa | | 587 | 901 | |
| Médio Tejo | | 43 | 1964 | |
| Beiras Serra Estrela | | 3229 | 2170 | |
| Total | | 5559 | 21680 | |

Anexo III. Evolução temporal do valor do NDVI nas parcelas validadas



