



Rega de precisão do olival com o recurso a imagens Sentinel-2

Samuel José Sardinha dos Santos

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientadores: Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes

Doutora Ana Cristina Navarro Ferreira

Júri:

Presidente: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, Professor Associado com Agregação do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Maria Teresa Gomes Afonso do Paço, Professora Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientador.

Resumo

A necessária melhoria da eficiência do uso da água exige também tecnologias de rega de precisão de forma a ser uma ajuda à tomada de decisão. A adoção destas tecnologias obriga a um cálculo das necessidades de rega no tempo e no espaço. No âmbito deste trabalho foi desenvolvido um método para permitir o zonamento e cálculo das necessidades de rega no olival, analisando-se três formas de condução, olival tradicional, intensivo e superintensivo. A utilização de imagens Sentinel-2 (10m e 5 dias), uma tecnologia acessível e de elevada resolução espaciotemporal, permitem o desenvolvimento de índices de vegetação que apoiam o zonamento em regiões de características diferentes entre si. Para além disso, possibilitam avaliar a consistência dessas mesmas zonas distintas na parcela ao longo de uma série de anos e em diferentes ciclos de desenvolvimento fenológico do olival.

Com vista ao cálculo das necessidades de rega do olival e tendo em conta as características específicas da região e da cultura foi desenvolvido um modelo para o cálculo da fração de cobertura (f_c) com base no EVI (Enhanced Vegetation Index). A f_c , específica para cada zona de cada parcela, foi utilizada para o cálculo do kr (coeficiente de redução da ET_c). Com o auxílio do ISAREG foi possível o cálculo das necessidades de rega para um conjunto de anos e zonas diferentes na mesma parcela, tendo por base as variáveis edafo-climáticas e o estado vegetativo das plantas.

Palavras-chave: Olival, Rega de precisão, Detecção remota, Balanço hídrico, Índices de vegetação

Abstract

The necessary improvement in water use efficiency also requires precision irrigation technologies to aid in decision making. The adoption of these technologies requires calculation of irrigation needs over time and space. In the scope of this work, a method was developed to enable zoning and calculation of water requirements in the olive grove, analyzing three types of management: traditional, intensive, and super high density. The use of Sentinel-2 images (10 m resolution and 5 days), an accessible and high spatiotemporal resolution technology, allows the development of vegetation indices that support zoning in regions with different characteristics. Additionally, it enables the evaluation of the consistency of these distinct zones within the plot over several years and during different phenological development cycles of the olive grove.

In order to calculate the water requirements of the olive grove and taking into account the specific characteristics of the region and the crop, a model was developed to calculate the fraction of ground surface covered by vegetation (f_c) based on the Enhanced Vegetation Index (EVI). The f_c , specific to each zone of each plot, was used to calculate the k_r (coefficient of ET_c reduction). With the help of ISAREG, it was possible to calculate the water requirements for a set of years and different zones in the same plot, based on edaphoclimatic variables and the vegetative state of the plants.

Keywords: Olive grove, Precision irrigation, Remote sensing, Vegetation indices, Soil water balance

Agradecimentos

A realização deste trabalho e deste curso não seriam possíveis sem o auxílio de tantas pessoas que passaram pela minha vida, que levaram um bocadinho de mim e deixaram-me um bocadinho de si.

Estou grato à minha família, aos meus irmãos, à minha irmã e aos meus pais, que me inculcaram o gosto pelo mundo rural e que, desde o princípio da minha vida académica, me incentivaram a aprimorar este talento que viram florescer. A eles, que sempre me acompanharam e me deram ânimo para continuar o trabalho.

Ao meu orientador, o professor Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes, agradeço a paciência e motivação que demonstrou em todas as fases da elaboração deste trabalho. De todas as reuniões, tantas vezes em horas pós-laborais, recordo as boas conversas tidas sobre a agricultura. À minha co-orientadora, a professora Ana Cristina Navarro Ferreira, agradeço também todo o apoio.

Agradeço à Marta Franco pelos últimos anos de amizade, pelo caminho que temos percorrido juntos, e pela preciosa ajuda e motivação para concluir este trabalho.

Agradeço à paróquia de S. Nicolau, em especial ao Pe Mário e ao Pe Hugo, pelo seu inconfundível trabalho em Lisboa para com cada pessoa que passa. A esta grande família de residentes, uma autêntica escola de nobres virtudes humanas e espirituais, deixo também o meu agradecimento.

Aos amigos do ISA, que foram neste tempo uma grande companhia em boas partilhas da agricultura e da vida.

Ao Santander, que me impulsionou a fazer este mestrado com o seu programa de incentivos ao mestrado.

Índice

Resumo.....	2
Abstract	3
Agradecimentos.....	4
Índice de quadros	8
Índice de figuras	9
Lista de Acrónimos, siglas e abreviaturas	12
1. Introdução.....	14
1.1. Enquadramento do estudo	14
1.2. Objetivos	15
1.3. Organização da dissertação	15
2. Revisão bibliográfica.....	16
2.1. Olival na região do Alentejo	16
2.1.1. Caracterização do olival	16
2.1.2. Produção e superfície de Olival.....	17
2.1.3. Expansão da área de olival no perímetro do Alqueva	18
2.1.4. Rega sustentável do olival	19
2.2. Cálculo das Necessidades de Rega.....	20
2.2.1. Evapotranspiração cultural (ETc).....	20
2.3. Cálculo do balanço hídrico do solo	23
2.3.1. Software ISAREG	25
2.3.2. Dados de entrada e saída	27
2.4. A Detecção Remota.....	27
2.5. Sentinel-2	29
2.6. Índices de vegetação.....	30

2.6.1.	Índice vegetativo de diferença normalizada - NDVI.....	30
2.6.2.	Índice de diferença normalizada de água - NDWI	31
2.6.3.	Índice de vegetação do solo ajustado - SAVI.....	31
2.6.4.	Índice de vegetação melhorado - EVI	32
2.7.	Parâmetros culturais obtidos através dos índices de vegetação.....	33
2.7.1.	Fração de cobertura do Solo (fc)	33
2.7.2.	Índice de área foliar (LAI).....	33
2.7.3.	Relação entre NDVI e o coeficiente cultural (Kc)	34
2.8.	Exemplos de aplicações de detecção remota nas culturas	35
2.9.	Regra de Precisão	36
3.	Materiais e Métodos	37
3.1.	Descrição do local de estudo	37
3.1.1.	Caracterização climática.....	38
3.1.2.	Caracterização edáfica.....	39
3.2.	Metodologia.....	40
3.2.1.	Introdução.....	40
3.2.2.	Criação do Sistema de informação Geográfica	42
3.2.3.	Pré-zonamento das parcelas	47
3.2.5.	Aplicação diferenciada de Rega	52
4.	Apresentação de Resultados e Discussão	58
4.1.	Pré-zonamento visual da parcela através dos IV	58
4.1.1.	Parcela 1	58
4.1.2.	Parcela 6	62
4.1.3.	Parcela 8	65
4.2.	Análise estatística da consistência das zonas identificadas	68
4.2.1.	Frequência da distribuição dos píxeis.....	68

4.2.2.	Distribuição de probabilidade dos píxeis	69
4.2.3.	Consistência condicional de zonas	70
4.1.	Ajustamento da Evapotranspiração cultural às diferentes zonas das parcelas	73
4.1.1.	Adaptação da metodologia de cálculo do coeficiente de redução (kr)	73
4.1.2.	Estimativa da fração de cobertura com base nos IV's.....	74
4.2.	Cálculo das necessidades de rega diferenciadas.....	76
5.	Conclusões	82
6.	Referências bibliográficas	84
Anexos.....		89

Índice de quadros

Quadro 1. Bandas multiespectrais do satélite Sentinel-2 mais utilizadas no cálculo de índices de vegetação.	29
Quadro 2. Relação entre os parâmetros K_c , K_{cb} , f_c e LAI com o NDVI, segundo (Toureiro et al., 2017) e (González-Piqueras, 2007).	35
Quadro 3. Parcelas em estudo.	38
Quadro 4. Classificação dos diferentes tipos de solo em cada parcela segundo a Classificação de Solos Portuguesa e correspondência com a WRB.....	40
Quadro 5. Valores de K_c mensais elaborados para um Olival de 15 anos, em Córdoba, cultivar Picual (Pastor, 1994).	55
Quadro 6. Data das imagens aéreas disponibilizadas pelo GEE para cada parcela.....	56
Quadro 7. Índices de vegetação e fração de cobertura das parcelas analisadas por fotografia aérea.	75
Quadro 8. Fração de cobertura (f_c) em cada uma das três zonas de cada parcela de regadio nos anos 2017 a 2020.....	77
Quadro 9. Necessidades de rega anuais (mm) das parcelas regadas em estudo desagregadas por zona e por ano.	82

Índice de figuras

Figura 1. Olival superintensivo na região do Alentejo.....	17
Figura 2. Evolução da produção(ton) e área (ha) da cultura do olival ao longo dos últimos 20 anos em Portugal. Adaptado de INE (2022).....	18
Figura 3. Evolução da área inscrita do olival no EFMA, olival superintensivo, olival intensivo e tradicional e restantes culturas inscritas no EFMA. Adaptado de EDIA (2022).....	19
Figura 4. Curva do coeficiente cultural (Kc) utilizando valores de Kc para as diferentes fases de desenvolvimento para a amêndoa (Oliveira, 2003).....	22
Figura 5. Esquema de representação do solo (Teixeira & Pereira, 1992).	24
Figura 6. Esquema do modelo do ISAREG (Teixeira, 2021).....	26
Figura 7. Ilustração dos componentes principais associados à deteção remota. Adaptado de Chuvieco (2016).	28
Figura 8. Diagrama Ombrotérmico de Gaussen, no período de referência 1971/2000, estação meteorológica de Évora. Fonte: IPMA.	39
Figura 9. Fluxograma da metodologia utilizada.....	41
Figura 10. Editor de código do GEE e respetiva imagem de EVI da parcela P1 resultante.....	43
Figura 11. Esquema da identificação visual das parcelas para a divisão em zonas. Utilização de índices de vegetação, tipo de solo, topografia e imagem aérea.....	48
Figura 12. Análise em "T" da consistência das subzonas heterogéneas da parcela de Olival.....	49
Figura 13. Frequência de Distribuição de píxeis de NDVI da parcela 5. As diferentes séries referem-se às diferentes zonas da parcela.....	50
Figura 14. Gráfico da função de distribuição de probabilidades acumuladas de NDVI da parcela 6.	51
Figura 15. Condição para o sucesso da consistência entre a zona de maior potencial e a zona de potencial médio.....	52
Figura 16. Condição para o sucesso da consistência entre a zona de potencial médio e a zona de menor potencial.	52
Figura 17. Valores de Kc resultantes da aplicação das diferentes abordagens: González-Piqueras (2006), Toureiro et al. (2017), D’Urso & Belmonte (2006), utilizando os valores de NDVI calculados para os anos	

2017 a 2020 de imagens Sentinel 2, na parcela 3, em estudo, e Kc apresentados na FAO56 por Allen et al. (1998) e por Pastor e Orgaz (1994).	54
Figura 18. Delimitação da copa e do compasso para o cálculo da fc, à esquerda, 20 árvores escolhidas aleatoriamente em cada zona da Parcela 5. À direita o pormenor de uma dessas árvores.	56
Figura 19. Parcela 1, olival tradicional. Desenho da parcela limites da parcela e zonas definidas “a”, tipo de altitude “b”, solo “c”.	58
Figura 20. Imagens NDVI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas no ano 2020. A imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.	59
Figura 21. Imagens EVI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas no ano 2020. Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.	60
Figura 22. Imagem NDWI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas do ano referência (2020). Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.	60
Figura 23. Imagens SAVI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas do ano referência (2020). Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.	61
Figura 24. Imagens NDRE da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas do ano referência (2020). Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.	62
Figura 25. Imagem aérea do Olival em sebe da parcela 6 (a), tipo de solo da parcela (b) e elevação do terreno à direita.	63
Figura 26. Imagem NDVI da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020). a imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.	64
Figura 27. Imagem EVI da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020).	64
Figura 28. Imagem SAVI da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020).	65
Figura 29. Imagem NDRE da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020).	65
Figura 30. Imagem aérea da parcela 8, Olival intensivo (a) e respetivo tipo de solo (b)	66
Figura 31. Imagens NDVI (a, b, c) e EVI (d,e,f) da parcela 8, olival intensivo em 3 épocas do ano referência (2020).	67
Figura 32. Histograma de frequência de pixéis, de valores de NDVI na parcela 6, Olival Em sebe, na época da floração (f) e stress (s).	68
Figura 33. Histograma de frequência de pixéis, de valores de NDVI na parcela 6, Olival Em sebe, na época	

da colheita (c).....	69
Figura 34. Diagramas de probabilidade acumulada (ou frequência acumulada) dos píxeis de NDVI da parcela 6, olival em sebe no ano de referência (2020) para a época da floração (f), stress (s) e colheita (c).	70
Figura 35. Análise da consistência das zonas, (Z2-Z1) e (Z3-Z2) das parcelas de Olival, no ano de 2020 para as diferentes épocas em análise (colheita, floração e stress)	71
Figura 36. Análise da consistência das zonas, (Z2-Z1) e (Z3-Z2) das parcelas de Olival, na época de stress para os anos em análise (2017, 2018, 2019, 2020).....	72
Figura 37. Fator de redução da Etc em função da fração de cobertura do solo (fc). Adaptado de Pastor (1994).	74
Figura 38. Correlação entre NDVI, SAVI e EVI e a fc de cada subparcela.....	76
Figura 39. Necessidades de rega (mm) da Parcela 6, Olival Em sebe, nos anos de 2017 a 2020, nas três zonas da	78
Figura 40. Fotografia de parte do Olival na parcela 6.....	79
Figura 41. Necessidades de rega (mm) da Parcela 7, Olival Em sebe, nos anos de 2017 a 2020, nas três zonas da parcela.....	80
Figura 42. Necessidades de rega (mm) da Parcela 8, olival superintensivo, nos anos de 2017 a 2020, nas três zonas da parcela	81

Lista de Acrónimos, siglas e abreviaturas

CC	Capacidade de campo
CE	Coefficiente de emurchecimento
ETc	Evapotranspiração cultural (mm d ⁻¹)
ETo	Evapotranspiração de referência (mm d ⁻¹)
EVI	Índices de vegetação melhorado
fc	Fração de cobertura do solo
GEE	Google Earth Engine
ISAREG	Modelo para a simulação do balanço hídrico do solo com rega
IV	Índices de vegetação
Kc	Coefficiente cultural
r	Coefficiente de redução da ETc
LRFU	Limite da reserva facilmente utilizável
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
NDWI	Índice de Água com Diferença Normalizada
NIR	Radiação do infravermelho próximo
p	Fração facilmente utilizável
RFU	Reserva facilmente utilizável
RU	Reserva útil
SAVI	Índice de vegetação do solo ajustado

SIG Sistema de informação geográfica

WRB World Reference Base

1. Introdução

1.1. Enquadramento do estudo

A água é o sustentáculo da vida na Terra e um elemento-chave no meio ambiente. Desempenha um papel crucial na manutenção da qualidade de vida e no desenvolvimento económico e social.

Como recurso natural, a água é limitada e, conseqüentemente, só a utilização racional permitirá um desenvolvimento sustentável que garanta as necessidades hídricas das culturas do presente e do futuro. A agricultura utiliza uma grande fração de água doce para a produção de alimentos. Com o aumento desta mesma produção cresce também a importante preocupação em fomentar a utilização eficiente deste recurso natural.

Nos países do sul da Europa é mais evidente a escassez deste recurso, principalmente em certos períodos, dado que a precipitação é mais reduzida e mais concentrada no tempo. Neste contexto é fundamental a utilização da água com a máxima eficiência. Como forma de resposta a este problema tem surgido o conceito de rega de precisão, i.e., o fornecimento de água às plantas de forma diferencial no espaço e no tempo consoante as necessidades de cada zona da parcela e não de forma uniforme na parcela reduzindo as perdas de água e promovendo uma otimização dos recursos aplicados (água e energia).

Por outro lado, apesar de surgirem no mercado uma grande quantidade de tecnologias de rega de precisão (como mapas de produtividade, sensores de teor de água no solo, sistemas variáveis de aplicação de água), não existem por vezes metodologias sólidas de zonamento da parcela que integrem as diferentes informações recolhidas. Além do mais, existe uma falta de conhecimento das necessidades hídricas de cada zona delimitada de forma quantitativa e expedita que permita ao agricultor tomar a decisão de quanto regar em cada zona da parcela.

O presente estudo pretende ir ao encontro da necessidade de melhoria da eficiência do uso da água na rega das culturas, focando-se na cultura do olival. A abordagem a utilizar liga-se ao termo de agricultura de precisão na medida em que procura contribuir para a aplicação precisa de água no espaço e no tempo (Smith & Baillie, 2009).

1.2. Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é o cálculo das necessidades de rega da oliveira de forma diferenciada no espaço e no tempo. Pretende-se, assim, a quantificação das necessidades de rega para as diferentes zonas da parcela através da utilização da deteção remota, desenvolvendo-se uma metodologia de rega de precisão no olival. Propõe-se, com maior detalhe, levar a cabo os seguintes objetivos específicos:

- a) Construir um sistema de informação geográfica (SIG) que contemple os dados das parcelas em estudo. Nomeadamente, a localização, limites, imagens aéreas, imagens de índices de vegetação ao longo de vários anos, bem como, informações do tipo de solo e morfologia da parcela.
- b) Desenvolvimento de uma metodologia para a identificação e delimitação de zonas heterogéneas dentro das parcelas de Olival com recurso ao SIG.
- c) Avaliação da consistência das zonas heterogéneas definidas com recurso a imagens Sentinel 2.
- d) Ajustamento dos valores do coeficiente cultural (K_c) para cada subzona em função da fração de cobertura determinada através dos índices de vegetação.
- e) Modelação das necessidades de rega da cultura do Olival em diferentes anos e em distintas zonas da mesma parcela com o auxílio de informação de deteção remota.

1.3. Organização da dissertação

A dissertação está dividida em cinco grandes capítulos, dos quais, a revisão bibliográfica integra o Capítulo 2, onde são abordados os conceitos que servirão de base à realização do estudo. O capítulo 3 descreve as metodologias aplicadas e os materiais utilizados. No capítulo 4 é feita a Apresentação de Resultados e Discussão onde se mostram os resultados alcançados, bem como, o seu significado. Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho desenvolvido. São ainda apresentados em anexo os dados de entrada no modelo e alguns resultados de etapas intermédias do trabalho com a finalidade de dar um maior detalhe sobre o trabalho efetuado.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Olival na região do Alentejo

2.1.1. Caracterização do olival

A oliveira, *Olea europaea* L., é uma das plantas cultivadas mais antigas, cuja origem remonta a 4000-3000 anos a. C., na zona da Palestina. Em Portugal, integra a paisagem como sendo uma das árvores mais comuns.

O tamanho da oliveira é geralmente mediano, entre os 4 e 8 m de altura, podendo o tronco chegar a 2 m de diâmetro. A *Olea europaea* L. apresenta um crescimento relativamente lento e uma folha persistente, especializada em controlar as perdas de água, e que pode permanecer na árvore de 1 a 3 anos. As características morfológicas desta planta permitem-lhe minimizar a absorção de luz e maximizar as trocas de calor. A reduzida dimensão das folhas, o posicionamento vertical, a elevada compactação do parênquima clorífero e a elevada refletância das folhas minimizam a interceção da radiação. Para além disto, reduzem a interceção da radiação solar devido ao seu reduzido tamanho e posicionamento vertical (Barroso et al., 2013).

O sistema radicular da oliveira estende-se, geralmente, entre os 20 a 80 cm de profundidade. Apresenta um desenvolvimento fasciculado em plantas com mais de três anos ou em oliveiras transplantadas. As raízes estendem-se lateralmente, de forma considerável, atingindo maior profundidade em condições de menor disponibilidade hídrica e em terrenos mais arenosos (Rodrigues & Correia, 2009).

A condução do olival no Alentejo pode ser agrupada em três tipos dominantes: o olival tradicional, intensivo e superintensivo. Ao longo dos anos, o olival de menor densidade, normalmente associado à policultura ou a regiões com bastante relevo, tem-se convertido em olival de maior densidade. Este aumento da densidade contribui sobretudo para a redução dos custos de produção da cultura, permitindo um aumento da sua margem bruta. Para além disso, estes olivais podem produzir em 10 anos o mesmo que os olivais tradicionais produziram em 70 (Barroso et al., 2013).

Os Olivais tradicionais têm menos de 200 árvores por hectare, enquanto o olival intensivo pode ter entre 200 a 450 e o olival superintensivo mais de 600 oliveiras por hectare (Barroso et al., 2013).



Figura 1. Olival superintensivo na região do Alentejo.

2.1.2. Produção e superfície de Olival

Em Portugal, a área de Olival tem aumentado nos últimos anos, atingindo, em 2021, cerca de 380 mil ha. A sua produção tem assumido também uma tendência crescente, mas muito mais pronunciada, sendo que nos últimos 10 anos duplicou, chegando aos 1,3 Milhões de toneladas. Esta produção é provocada sobretudo pelo aumento da produtividade dos olivais, que ao longo dos anos se têm vindo a profissionalizar e a aumentar a sua produção por área.

Na figura 2 são visíveis os fenómenos de safra e conta-safra devidos à produção elevada, num ano, e à sua redução, no ano seguinte. Este ciclo bienal é comum em muitas fruteiras, acentuando-se no olival. A alternância aparece como um processo natural, relacionado com o hábito de frutificação da oliveira em que a produção de um dado ano limita as reservas da planta e interfere com a produção do ano seguinte.(INE, 2022).

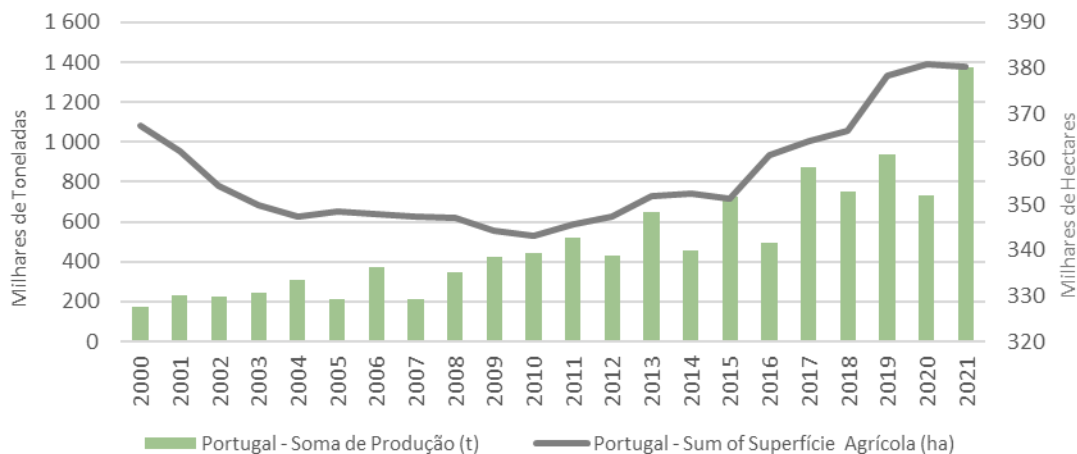


Figura 2. Evolução da produção(ton) e área (ha) da cultura do olival ao longo dos últimos 20 anos em Portugal. Adaptado de INE (2022).

2.1.3. Expansão da área de olival no perímetro do Alqueva

O Empreendimento de fins múltiplos do Alqueva (EFMA) veio também a ser um importante impulsionador do aumento e conversão do olival do Alentejo. De facto, a disponibilidade de água para rega possibilitou uma mudança mais expressiva do modo de condução do olival, revolucionando a sua forma de produção e incrementando a sua produtividade (EDIA, 2022).

Ao longo dos últimos anos a área de olival no EFMA tem aumentado (como é visível na Figura 3), sobretudo a do olival superintensivo, que no ano de 2021 representou cerca de 33 milhares de hectares. Neste mesmo ano a área total de olival inscrita no EFMA estabeleceu-se nos cerca de 70 milhares de hectares, 62.2% da totalidade da área inscrita no EFMA, sendo por isso a cultura dominante (EDIA, 2022).

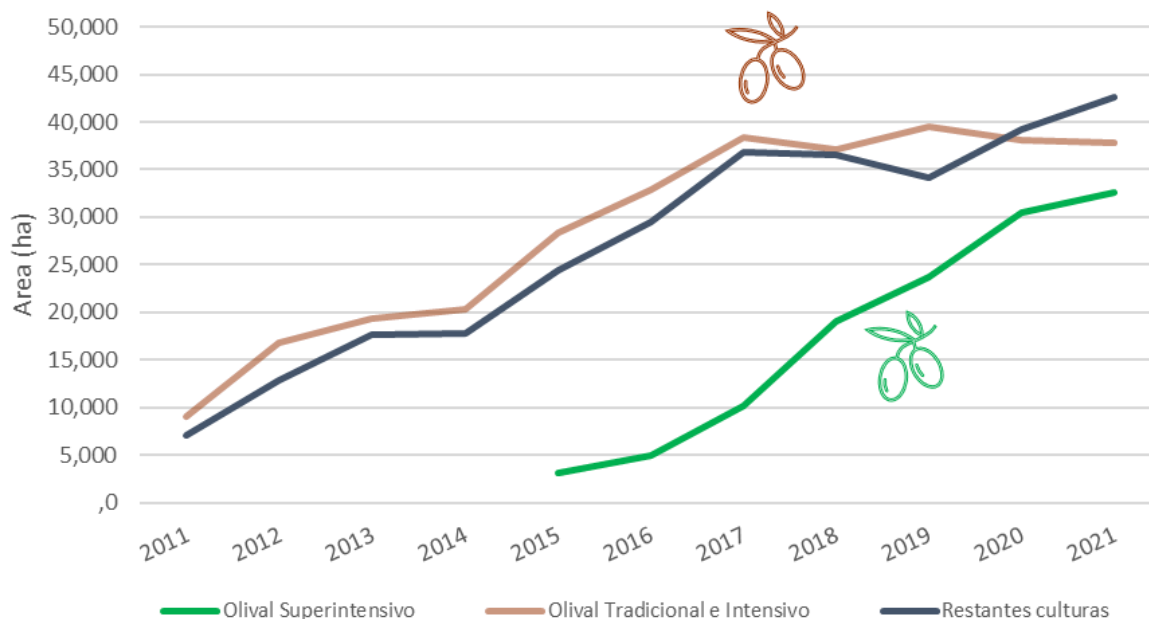


Figura 3. Evolução da área inscrita do olival no EFMA, olival superintensivo, olival intensivo e tradicional e restantes culturas inscritas no EFMA. Adaptado de EDIA (2022)

2.1.4. Rega sustentável do olival

O olival, apesar de ser uma cultura autóctone e bem-adaptada ao clima mediterrâneo, vê a sua produção aumentar com a rega. A implementação do regadio no olival tem sido cada vez mais uma estratégia decisiva para melhorar a sustentabilidade ambiental e económica da cultura. Segundo Bacelar *et al.* (2009), também a rega permite uma menor influência dos fenómenos de contrassafra do olival, aliada à prática de evitar a colheita tardia que permitem um início de ciclo mais precoce e consequentemente uma maior acumulação de reservas para o novo ciclo.

O aumento da produção da azeitona e de azeite introduzido pela rega é devido fundamentalmente ao número superior de ramos que frutificam, ao maior número de frutos que vingam por cada um destes ramos, e ao maior tamanho dos frutos, permitindo um maior rendimento em azeite pela existência de maior volume de polpa. O volume superior da copa e do diâmetro do tronco, quando comparado com o de outras plantas, também é apontado como sendo um importante fator para a melhoria dos olivais regados, que, com o passar dos anos, se tornam em plantas com maior estabilidade e com produções sucessivamente superiores.

Ao contrário do evidente efeito da rega sobre a produção, o seu efeito na qualidade do fruto não parece tão evidente, sendo os resultados muitas vezes contraditórios. Há uma tendência para atribuir a maior

quantidade de compostos fenólicos e azeites provenientes de oliveiras em condições de ausência de rega. Apesar disto, em termos sensoriais, domina a opinião de que os azeites produzidos em oliveiras de regadio são menos amargos e picantes, com um sabor frutado semelhante (Ramos, 2013).

Embora a rega potencie a produção, o seu excesso também poderá causar alguns problemas, tais como o excesso de vigor da planta, prováveis reduções de qualidade do fruto, e uma insustentável utilização da água. Segundo Fernández *et al.* (2013), a rega deficitária poderá ser uma estratégia crucial a adotar para uma otimização do uso da água. Existem várias estratégias que podem ser adotadas para a rega deficitária. Um exemplo dessas estratégias é a rega deficitária contínua. A aplicação desta estratégia assenta na distribuição contínua do *déficit* hídrico sobre todo o ciclo da planta, de modo a reduzir ocorrência de stress hídrico severo em períodos mais sensíveis para a planta. A rega deficitária contínua pode ter algumas desvantagens, tais como o aumento do stress hídrico da planta devido à reduzida humidade no solo. Outra estratégia é a rega de *déficit* controlado: a oliveira é regada atendendo às plenas necessidades das fases do ciclo vegetativo que são mais sensíveis à falta de água, nomeadamente a floração, o endurecimento do endocarpo, e durante duas a três semanas antes do amadurecimento do fruto, diminuindo-se a rega ao longo do restante ciclo (Fernández *et al.*, 2013).

2.2. Cálculo das Necessidades de Rega

Para a determinação das necessidades de rega de uma cultura é importante estimar as saídas de água do sistema solo-planta. A evapotranspiração (ET) permite prever grande parte das necessidades hídricas da cultura, sendo estas definidas como o conjunto da água que é perdida pela transpiração da planta e pela sua evaporação a partir do solo.

2.2.1. Evapotranspiração cultural (ET_c)

A evapotranspiração cultural (ET_c) é definida como a quantidade de água necessária para repor no solo a água perdida pela evapotranspiração de uma cultura saudável, cultivada em áreas extensas e sem limitações de solo, água e fertilidade (Allen *et al.*, 1998). A taxa de ET_c depende do ambiente físico, da espécie/cultivar, do estado de desenvolvimento e de crescimento e do estado nutricional e sanitário da cultura. A ET_c pode ser medida diretamente in-situ, por diferentes tipos de métodos, ou estimada indiretamente por modelos. Os métodos indiretos dispensam medições de campo, são mais fáceis de utilizar e mais adequados para uma utilização a um nível operacional (por exemplo gestão e condução da rega). Principalmente quando requerem um conjunto de dados de entrada de obtenção simples e prática e quando o investimento em termos da sua parametrização e calibração é moderado (Allen *et al.*, 1998).

Segundo o mesmo autor, a ET_c pode ser estimada através da utilização da noção de Evapotranspiração de referência (ET_0) que denomina a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética em conforto hídrico, cultivada numa área extensa, saudável, cobrindo a totalidade do solo, com um crescimento ativo e uma altura uniforme de 0.12 m. A ET_0 corresponde a esta cultura hipotética sendo modificado o seu valor através de um coeficiente cultural (K_c), dependente das características da cultura e dos efeitos da evaporação do solo. A ET_c pode ser expressa conforme a Equação 1 (Allen et al., 1998).

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

A ET_0 pode ser obtida com recurso a dados meteorológicos *in situ*, expressando as características climáticas específicas da regiões onde se localiza a cultura. Por sua vez, o K_c relaciona-se com as características da cultura, especificamente com a evaporação do solo, resistência da superfície cultura-solo e albedo da superfície do solo e da cultura.

2.2.1.1. Coeficiente cultural (K_c)

Para o K_c existem valores que foram estudados para uma grande diversidade de culturas, podendo ser utilizados para diferentes regiões dado que o K_c é pouco variável com as mudanças climáticas regionais. Em algumas situações é possível o ajustamento dos valores de K_c , tal como em condições de humidade e de velocidade média do vento diferentes das convencionadas (humidade relativa de 45% e uma velocidade média do vento de 2 m.s^{-1}) (Allen et al., 1998; Branquinho et al., 2021; Pereira, 2004).

O K_c é variável ao longo das fases de desenvolvimento da cultura, sendo que, dependendo da cultura, é possível ter mais ou menos períodos distintos entre si pelo maior ou menor valor de K_c e consequentemente de ET_c . A construção de uma curva de K_c , como se pode observar na Figura 4 é de elaboração bastante simples e permite retirar conclusões acerca da necessidade de água das culturas em cada época do período vegetativo.

O procedimento de construção das curvas de K_c é abordado em Allen *et al.* (1998) sendo que inicialmente divide-se o ciclo da cultura em quatro períodos de acordo com a fenologia e o desenvolvimento da cultura, de seguida identificam-se os três valores de K_c que correspondem ao K_c inicial, médio e final como mostra a Figura 4.

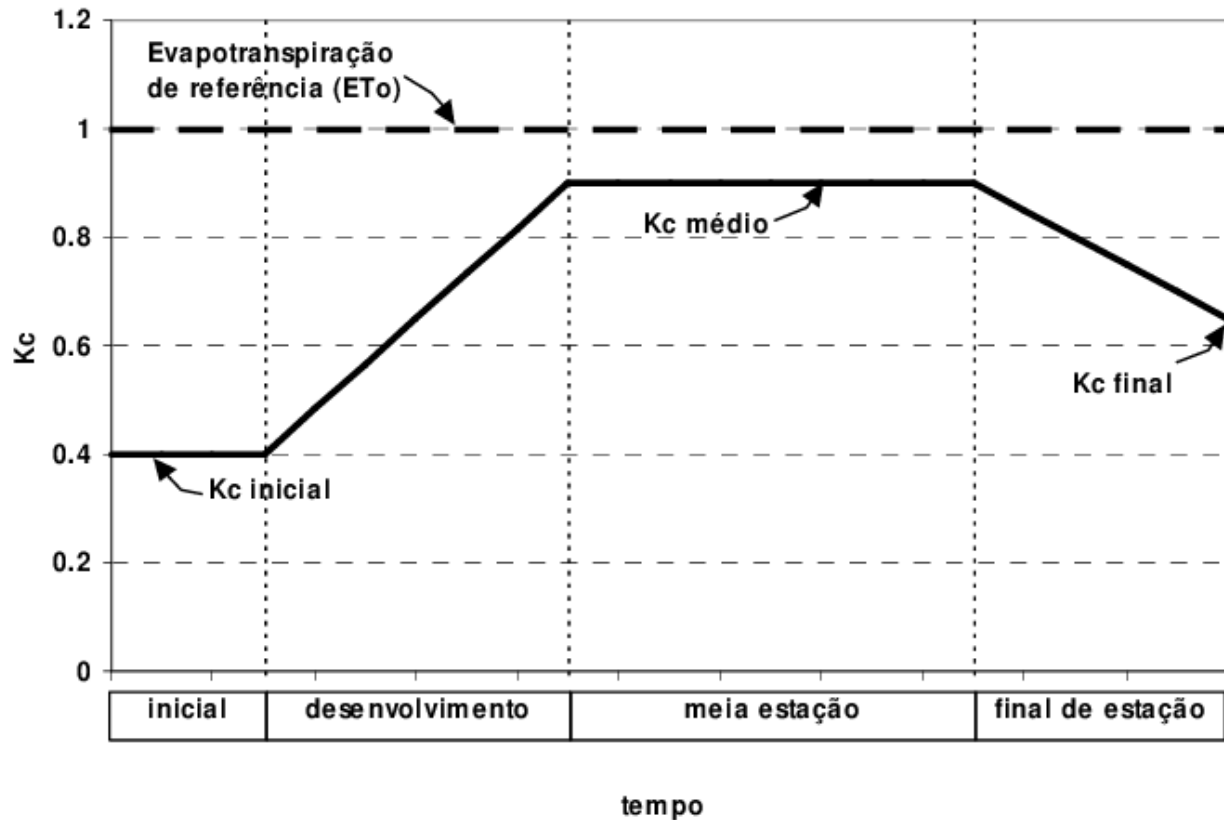


Figura 4. Curva do coeficiente cultural (K_c) utilizando valores de K_c para as diferentes fases de desenvolvimento para a amêndoa (Oliveira, 2003).

O K_c do olival não apresenta o mesmo comportamento da maioria das culturas dado que os estomas fecham quando a humidade relativa do ar é muito baixa. Desse modo, é necessário ter em conta o clima na utilização dos valores de K_c (Pastor, 1994)

Pastor (1994) estudou um Olival de 15 anos, da cultivar Picual, em Córdoba, Espanha, chegando a valores de K_c para os diferentes meses do ano. Esses valores de K_c foram estabelecidos para uma fração de cobertura do solo (f_c) de 0.6, i. e., os valores apresentados referem-se a um olival que cobre 60% do solo. O estudo recorreu a quatro programas de rega com a finalidade de chegar aos valores de K_c que permitissem melhores produções sem redução da qualidade. Para diferentes valores de f_c o autor estimou um ajustamento do valor de K_c com recurso à variação da f_c . A este coeficiente de redução do K_c e consecutivamente da ET_c , denomina-se k_r (Coeficiente de redução da ET_c).

Esse estudo tem sido muito utilizado quer em Portugal quer em Espanha para o cálculo do balanço hídrico (Branquinho et al., 2021; Aparício, 2022)

2.3. Cálculo do balanço hídrico do solo

A rega (R) e a Precipitação (P) adicionam água à zona radicular. Parte de R e de P pode-se perder por escoamento superficial (ES) e por percolação profunda (PP), também poderá dar-se ascensão capilar (AC) de um lençol freático pouco profundo para a zona capilar. Por fim, a transferência de água horizontalmente por fluxo subsuperficial para a zona da raiz (SFin) e desta para o exterior (SFout), fluxo subsuperficial. À exceção de parcelas com grandes declives, SFin e SFout podem ser ignorados. A evaporação do solo e a transpiração das culturas vão esgotando o volume de água armazenado na zona radicular e, normalmente, a evapotranspiração (ET) é o fluxo com maior importância e de estimativa mais difícil. ΔSW define a variação do armazenamento de água do solo (Allen et al., 1998).

(2)

$$ET = R + P - ES - PP + AC + SFin - SFout - \Delta SW$$

Como mostra a Figura 5, podemos considerar o solo como um reservatório, sendo que, a capacidade máxima é a reserva utilizável (RU) que denomina a totalidade de água disponível no solo que pode ser extraída pela planta, concretizando-se na equação (3).

(3)

$$RU = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP})$$

RU simboliza a reserva utilizável do solo (mm), θ_{FC} denomina o teor de água no solo à capacidade de campo, θ_{WP} representa o teor de água no solo corresponde ao coeficiente de emurchecimento e Z_r a profundidade da zona explorada pelas raízes (m) (Allen et al.,1998).

Com a saída de água do reservatório, por exemplo pela ET_c , a planta vai tendo cada vez mais dificuldade em extrair água até atingir o coeficiente de emurchecimento permanente (WP), i.e., o limite a partir do qual a planta deixa de conseguir extrair água atingindo o emurchecimento e não recuperando de forma permanente. A reserva facilmente utilizável (RFU) corresponde à quantidade de água que a planta pode extrair em condições de conforto hídrico. Como é visível na (4), o seu cálculo pode ser representado pelo produto de RU e p , que se refere à fração de água facilmente utilizável. Este valor varia com o solo e a cultura (Allen et al.,1998).

$$RFU = RU \cdot p$$

Na Figura 5 está representado o esquema do balanço hídrico do solo, sendo apresentados também os limites de RU e RFU, abordado anteriormente, para além das entradas e saídas de água do volume de solo.

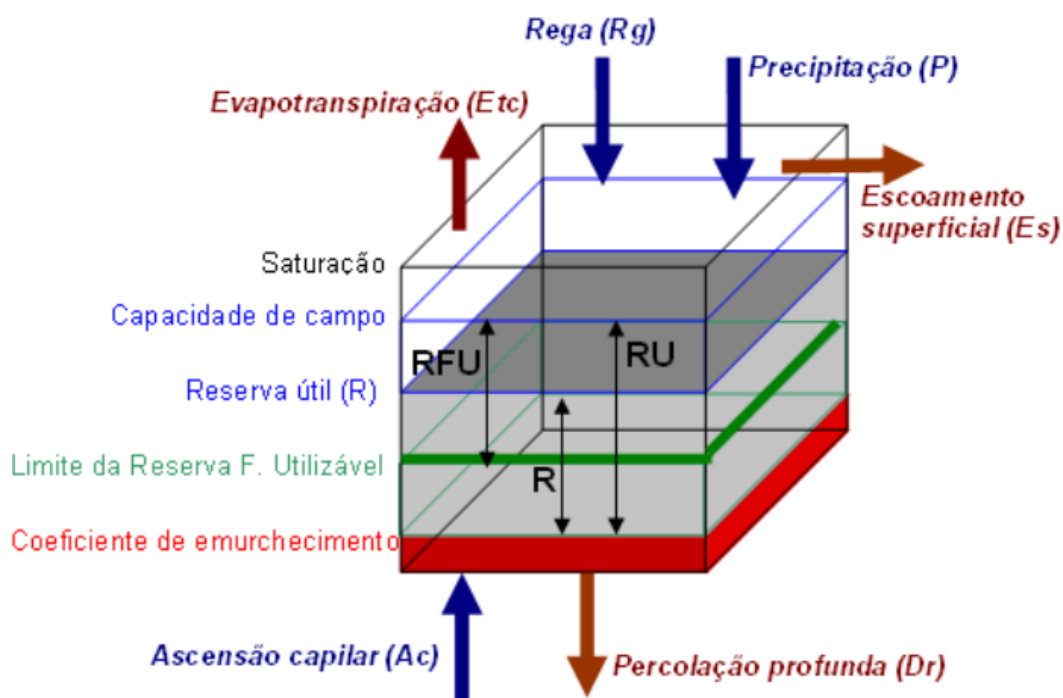


Figura 5. Esquema de representação do solo (Teixeira & Pereira, 1992).

2.3.1. Software ISAREG

2.3.1.1. Princípios teóricos

O modelo ISAREG (J. L. Teixeira & Pereira, 1992) baseia-se no balanço hídrico do solo efetuado segundo a metodologia apresentada por (Doorenbos & Pruitt, 1977; Allen et al., 1998), os quais definiram as necessidades de água das culturas, expressa em altura (mm), como a quantidade de água necessária para repor a água perdida através da evapotranspiração da cultura, em bom estado sanitário (sem doenças, sem restrições espaciais, de nutrição, de água e de solo. Atingindo a produção potencial para o ambiente onde se encontra.

A determinação das necessidades hídricas das culturas, através deste modelo, baseia-se na realização de um balanço simples de água no solo com recurso a um modelo matemático, que para além das necessidades hídricas da cultura permite determinar igualmente as necessidades de rega para cada situação.

2.3.1.2. Funcionamento e utilização prática

O *Software* permite efetuar o balanço hídrico ao nível da parcela e para a totalidade da época de rega. Admitindo um prisma de solo de área unitária e profundidade variável com o crescimento radicular.

O modelo matemático que suporta o cálculo satisfaz um grande número de aplicações relativas a um sistema cultura-solo-clima. Entre as quais, calendarizar, *à priori*, a rega determinando a oportunidade e o volume de cada rega, a quebra da produção e o caudal fictício contínuo (Teixeira, 2021). Existe também a possibilidade de determinar as necessidades de rega de uma cultura e avaliar um certo calendário de rega. Por meio da construção de séries estatísticas com os valores das necessidades de rega e do caudal fictício contínuo é possível, ainda, definir os parâmetros de projetos de rega (P. L. Sousa & Morais, 2011).

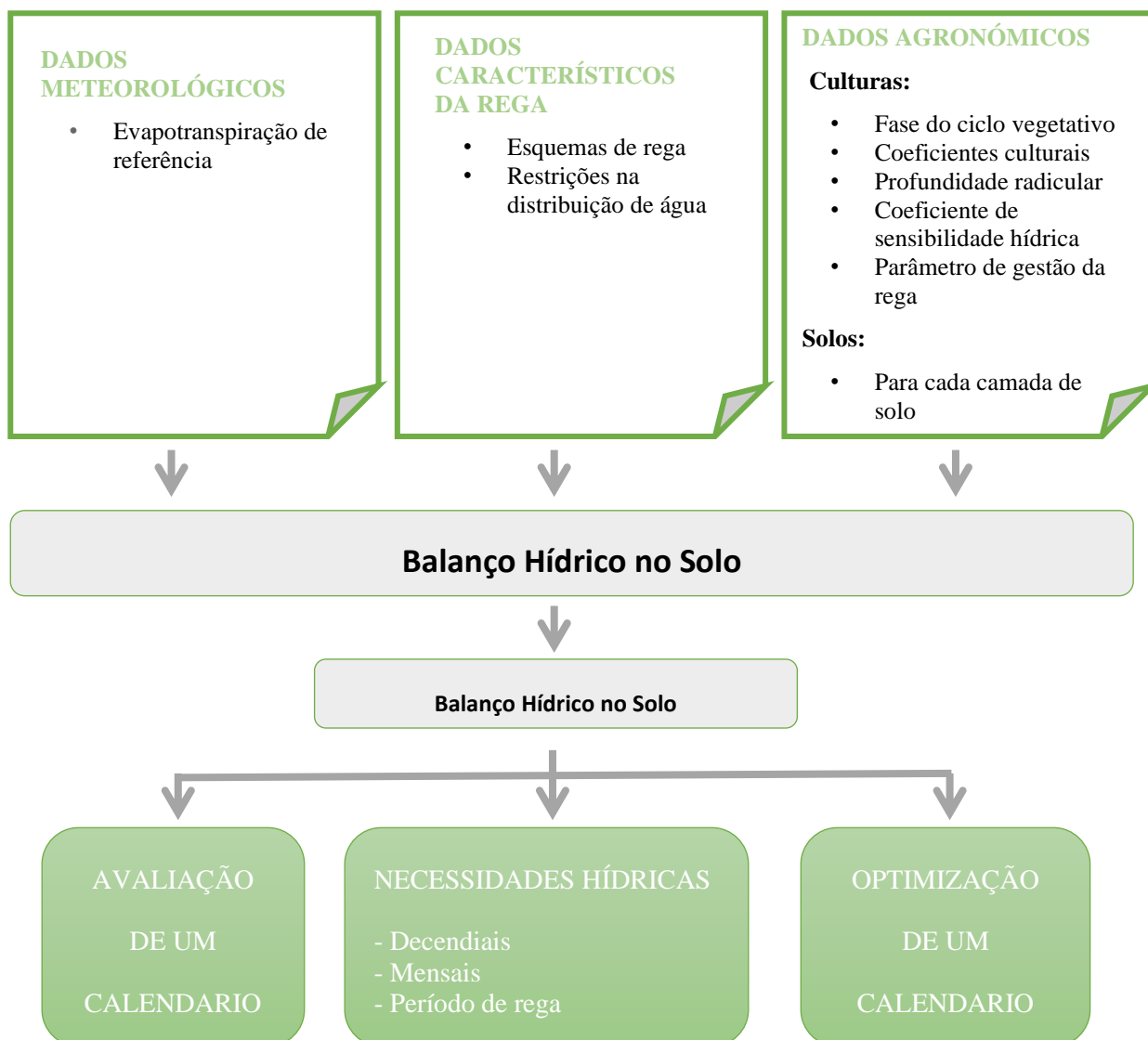


Figura 6. Esquema do modelo do ISAREG (Teixeira, 2021)

2.3.2. Dados de entrada e saída

Os *inputs* necessários ao funcionamento do modelo incluem:

- Os dados meteorológicos: precipitação efetiva, evaporação de referência (ET_o) ou os dados climáticos necessários ao seu cálculo.
- Dados culturais relativos às datas das fases do ciclo cultural, e respetivos coeficientes culturais (K_c); profundidade radicular Z_r [m]; fração da água do solo utilizável sem provocar stress hídrico (p); e fator de resposta da cultura ao défice hídrico (K_y).
- Dados das características pedológicas do solo, referentes às múltiplas camadas do solo: relativo a cada camada; a respetiva profundidade d [m]; conteúdo de água do solo à capacidade de campo e no coeficiente de emurchecimento permanente.
- Dados relativos à ascensão capilar
- Dados sobre as opções de rega
- Dados sobre a restrição de água, referentes às restrições impostas aos esquemas simulados relativamente aos volumes de água disponíveis e aos períodos em que estes estão disponíveis.

Os *outputs* do modelo ISAREG, através do balanço de água no solo, dão indicação sobre o volume de água de rega para cada cultura nas condições em que foi simulada. Este valor não contempla, naturalmente, as perdas de água do sistema de rega, havendo assim que, subseqüentemente, afetá-lo da respetiva eficiência de rega (Smith & Baillie, 2009).

2.4. A Detecção Remota

A Detecção remota é referida por Penteado (2014) como a captação de informação, acerca do estado e condições de um corpo, com recurso a sensores que não se encontrem fisicamente em contacto com o mesmo. Por exemplo, os olhos comparam-se a sensores que conseguem ver uma árvore através da descodificação da energia radiante visível que é refletida pela árvore ao refletir a luz solar ou outra fonte de iluminação. No entanto, não conseguiriam identificá-la se estivesse na escuridão dado que não são sensíveis a outras fontes de energia vindas da árvore, como a radiação térmica. Tanto a energia refletida como a energia emitida pela árvore estão estreitamente ligadas às suas propriedades químicas, biológicas e físicas, como por exemplo, o número e a posição das suas folhas e ramos, ou o seu conteúdo em pigmento ou água (Chuvieco, 2016).

Assim, num âmbito mais restrito, a deteção remota é o processo de recolha de informação de áreas e objetos

sobre ou próximos da superfície terrestre, por um sensor de radiação eletromagnética colocado acima da mesma superfície terrestre (Coelho & Marques da Silva, 2009)

A interpretação das informações relevantes resultantes deste método requer uma boa compreensão da base física e do processo de aquisição da informação, bem como um conhecimento sólido dos algoritmos utilizados para processar os dados originais. Resumidamente a detecção remota contém seis componentes essenciais, como observamos na Figura 7, uma fonte de energia (1), que produz a radiação eletromagnética que interage entre o sensor e a superfície, normalmente o sol, que ilumina e aquece a Terra. A superfície da terra (2), constituída por vegetação, solos, água, rochas, neve, gelo e estruturas humanas. Estas superfícies recebem a energia incidente da fonte (1) e, como resultado da interação física e química com a energia recebida, refletem e emitem uma parte dessa energia de volta para o sensor do satélite. Parte dessa energia total pode ser filtrado pela (3) atmosfera em função das suas concentrações de gás e de partículas. Os Sensores incorporados na plataforma de detecção remota (4) são instrumentos de medição e registo da energia que vem da superfície. A plataforma tem também a capacidade de fornecer energia e estabelecer comunicações com o sistema terrestre, para além de controlar a altitude de órbita. O sistema de receção terrestre (5) recolhe os dados digitais brutos medidos pelos sensores, armazena os dados, e formata-os adequadamente. O analista (6), que converte os dados de imagem processados em informação temática e de interesse, utilizando técnicas visuais e/ou digitais. Com este processo, a comunidade de utilizadores, dispõe da informação extraída dos dados originais para uma grande variedade de aplicações incluindo a agricultura (Chuvieco, 2016) (Figura 7).

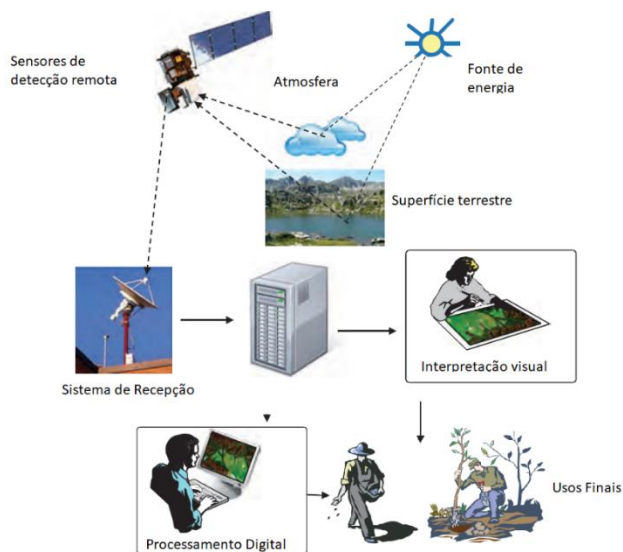


Figura 7. Ilustração dos componentes principais associados à detecção remota. Adaptado de Chuvieco (2016).

2.5. Sentinel-2

A missão Copernicus Sentinel-2 tem como objetivos a imagiologia de grande amplitude, alta resolução e multiespectral, apoiando os estudos de monitorização da terra, incluindo a monitorização da vegetação, da cobertura do solo e da água, bem como a observação de vias navegáveis interiores e zonas costeiras.

Os lançamentos das plataformas gémeas Sentinel-2 A+B pela Agência Espacial Europeia (ESA) têm-se traduzido numa melhoria da informação de suporte à agricultura de precisão. A ESA fornece aberta e livremente através da missão Sentinel-2 um número melhorado de bandas multiespectrais, um tempo de revisita mais frequente, e uma maior resolução espacial, que deverá ser de grande interesse para a comunidade agrícola. As bandas B2, B3, B4, B5 e B8, presentes no Quadro 1, são utilizadas para calcular índices de vegetação, sendo que têm diferentes resoluções espectrais.

Quadro 1. Bandas multiespectrais do satélite Sentinel-2 mais utilizadas no cálculo de índices de vegetação.

Bandas				
Nome	Escala	Tamanho Pixels	Comprimento de onda	Descrição
B2	0.0001	10 m	496.6nm (S2A) / 492.1nm (S2B)	Blue
B3	0.0001	10 m	560nm (S2A) / 559nm (S2B)	Green
B4	0.0001	10 m	664.5nm (S2A) / 665nm (S2B)	Red
B5	0.0001	20 m	703.9nm (S2A) / 703.8nm (S2B)	Red Edge 1
B8	0.0001	10 m	835.1nm (S2A) / 833nm (S2B)	NIR

2.6. Índices de vegetação

A assinatura espectral de um dado tipo de coberto tem uma grande importância na obtenção de índices de vegetação, suportado por imagens resultantes da detecção remota. Os índices de vegetação são algoritmos matemáticos resultantes da combinação entre diferentes bandas espectrais, e tornam-se numa forma simples de redução de dados múltiplos, das diferentes bandas registadas num pixel, a um simples valor numérico (Villalobos et al., 2009).

2.6.1. Índice vegetativo de diferença normalizada - NDVI

O NDVI (Normalized Difference Vegetative Index) é obtido através de imagens de detecção remota e é lido através da refletância, do objeto, nas bandas do infravermelho próximo (NIR) e do Vermelho (R). O cálculo pode ser feito segundo (Rouse et al., 1974) (5).

(5)

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Uma planta com bom vigor, irá absorver uma grande parte da radiação na banda do vermelho (R) e refletir mais radiação na banda do infravermelho próximo (NIR). Desta forma, e observando a equação, o valor de NDVI (adimensional) estará compreendido num intervalo entre -1 e 1 para a generalidade dos corpos e entre 0 e 1 para as plantas e corpos na superfície terrestre, em que a unidade representa o estado de vigor máximo para uma planta. Os valores de NDVI próximos de 0, são indicadores de que as plantas se encontram em *stress* hídrico ou atingiram o coeficiente de emurchecimento permanente (Toureiro et al., 2017).

A produção vegetal depende muito da aplicação adequada de água, azoto, entre outros fatores, o que torna o conhecimento da sua variabilidade espacial muito importante para a gestão agrícola (Penteado, 2014). A variabilidade espacial da água e nutrientes disponíveis para a cultura pode ser conhecida através do cálculo de índices de vegetação devido à sua forte correlação com a variabilidade espacial da clorofila com (Penteado, 2014).

2.6.2. Índice de diferença normalizada de água - NDWI

O NDWI (Normalized Difference Water Index) foi definido utilizando como base o NDVI, sendo que é calculado pela equação (6) onde GREEN corresponde à banda do verde e NIR corresponde à banda do infravermelho próximo.

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (6)$$

Segundo Gao (1996), este IV possibilita a medição da água líquida do coberto vegetativo que interage com a radiação solar incidente. É menos sensível aos efeitos de dispersão atmosférica do que o NDVI. A maximização da refletância típica da água através do comprimento de onda da radiação verde e a minimização da refletância do NIR que é uma característica dos solos e da cobertura terrestre permite um foco mais concreto na água e, conseqüentemente, na seca mais ou menos expressiva da parcela. As condições de encharcamento podem também ser alvo de interesse deste IV (McFeeters, 1996).

As imagens de valores positivos identificam massas de água, ao passo que os valores zero ou inferiores identificam zonas caracteristicamente sem água à superfície, resultando em valores mais próximos de -1 quanto mais extrema for a ausência de água (Yilmaz et al., 2008).

2.6.3. Índice de vegetação do solo ajustado - SAVI

O índice de vegetação do solo ajustado (SAVI) foi desenvolvido com o intuito de diminuir as diferenças produzidas pelos distintos tipos de solo, permitindo, em condições de cobertura descontínua do solo pela vegetação, reduzir o ruído provocado pelo solo nos índices de vegetação. Huete (1988) desenvolveu este índice com base no NDVI, considerando os erros que existiam pelas diferenças no solo. Este IV combina a luz refletida nas bandas vermelha (R) e infravermelha próxima (NIR), fornecendo assim uma medida indireta da absorção da luz vermelha pelas clorofilas (a e b) e refletância do NIR pela estrutura mesofílica nas folhas. A fórmula (equação 7) estabelece também um fator (L) que varia consoante a densidade do coberto vegetal. Os valores próximos de 1 descrevem situações de grande densidade de vegetação enquanto valores próximos de 0 correlacionam-se melhor com culturas mais esparsas. Segundo vários autores, o valor de L=0.5, permite uma redução considerável do ruído pelo solo para culturas de cobertura descontínua como o Olival (Pôças et al., 2015; Spyropoulos et al., 2020).

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \times (1 + L) \quad (7)$$

2.6.4. Índice de vegetação melhorado - EVI

O EVI (índice de vegetação melhorado) foi desenvolvido para otimizar o sinal de vegetação com maior sensibilidade em regiões de biomassa elevada, melhorando a monitorização da vegetação através de um desacoplamento do sinal do solo e uma redução das influências atmosféricas. Em Huete et al. (1997) foram estudados alguns índices como GVI, SAVI e EVI, sendo que o último foi o mais sensível às variações de NIR das coberturas vegetais.

A equação (8) representada o EVI, sendo NIR (Infravermelho próximo), R (vermelho) e B (azul) as respetivas bandas multiespectrais, G é um fator de ganho, C1 e C2 são coeficientes do termo de resistência do aerossol, que utiliza a banda azul para corrigir a influência do aerossol na banda do vermelho e L funciona como o fator de ajustamento do solo, como no SAVI, apesar de terem valores distintos. Segundo Jiang et al. (2008) os valores que têm sido mais utilizados pelo sucesso do ajustamento incluem $G = 2.5$, $C1 = 6$, $C2 = 7.5$ e $L = 1$.

$$EVI = G \frac{NIR-R}{NIR+C1R-C2B+L} (1+L) \quad (8)$$

2.6.4.1. *Índice de diferença normalizada do Vermelho próximo - NDRE*

O NDRE (índice *Red-Edge* de diferença normalizada) é um índice espectral que é construído com o auxílio da banda de Infravermelho Próximo (NIR) e uma banda que usa um intervalo espectral estreito entre o vermelho visível e o (NIR). Este índice (equação 9) é muito semelhante ao NVDI. Contudo, o NDRE é mais sensível do que o NDVI para um certo período de maturação da cultura. O NDRE é um melhor indicador das condições das plantas do que o NDVI para as culturas que já acumularam uma grande quantidade de clorofila. A razão deve-se ao facto de a radiação *Red-Edge* poder passar através das folhas com uma maior intensidade.

$$NDRE = \frac{NIR-RedEdge}{NIR+RedEdge} \quad (9)$$

2.7. Parâmetros culturais obtidos através dos índices de vegetação

2.7.1. Fração de cobertura do Solo (fc)

A fração de cobertura do solo (fc) descreve a densidade horizontal de vegetação, i. e., a percentagem de superfície de solo coberto pela vegetação. Este coeficiente é útil para desacoplar a vegetação e o solo em processos de balanço de energia (Bacour et al., 2006), bem como, na interação entre a radiação, o solo e a vegetação.

A fc é comumente utilizada como parâmetro agronómico de referência por ser de fácil medição (utilizando fotografia digital). Do mesmo modo, tem sido usada para delinear os estados fenológicos das culturas, permitindo definir as curvas de crescimento da cultura. Trout & Johnson (2007) observaram que o NDVI pode ser relacionado com a fc resultando numa forte correlações ($R^2=0.96$) para uma grande variedade de culturas, tais como: tomate, melancia, feijão, alho, algodão, amêndoa, vinha, entre outras. Segundo (González-Piqueras, 2007) se a fc é menor do que 85%, pode existir uma relação forte entre NDVI e fc, dada pela equação (10), onde NDVIs corresponde ao solo nu, podendo tomar o valor de 0.14 (González-Piqueras, 2007).

$$fc = 1.19 (NDVI - NDVIs) \quad (10)$$

Num trabalho mais recente elaborado no distrito de Évora em Portugal, o fc foi obtido através de uma função exponencial, equação 11, com um coeficiente de determinação de 0.89, para a cultura do milho em regadio (Toureiro et al., 2017).

$$fc = 0.13e^{2.123NDVI} \quad (11)$$

2.7.2. Índice de área foliar (LAI)

O LAI (*leaf area index*) é um parâmetro biofísico de superfície de grande interesse para os estudos de deteção remota ajustada às culturas. Pode ser definido como a área total unilateral de tecido fotossintético por unidade de área do solo. Esta área de folhas verdes tem uma importante função numa vasta gama de

processos biológicos e físicos. O LAI é um parâmetro chave na caracterização da estrutura e o funcionamento da cobertura vegetal e pode ser uma ferramenta útil na identificação das folhas fotossinteticamente ativas. É de salientar que estão disponíveis métodos empíricos simplificados para estimar a área foliar com precisão satisfatória para aplicações operacionais. Nestes casos, o LAI é derivado por meio de equações de regressão com diferentes tipos de índices de vegetação para reduzir os efeitos atmosféricos ou a influência do solo (D'Urso et al., 2010).

2.7.3. Relação entre NDVI e o coeficiente cultural (K_c)

A detecção remota permite melhorar a definição dos coeficientes culturais e conseqüentemente a exatidão no uso dos mesmos para o cálculo das necessidades hídricas das culturas. Em Toureiro et al. (2017) é descrito um aumento na eficiência do uso de água pela adaptação da detecção remota na estimativa da curva de K_c em oposição aos métodos clássicos. No Quadro 2 observam-se a relação entre K_c , K_{cb} , f_c e LAI segundo várias fontes presente em (Toureiro et al., 2017).

Quadro 2. Relação entre os parâmetros K_c , K_{cb} , f_c e LAI com o NDVI, segundo (Toureiro et al., 2017) e (González-Piqueras, 2007).

Parâmetro a estimar	Relação
K_c	$K_c = 1.15 \text{ NDVI} + 0.17$ (12)
	$K_c = 1.25 \text{ NDVI} + 0.2$ (13)
f_c	$f_c = 1.19 \text{ NDVI} - 0.16$ (14)
	$f_c = 1.35 \text{ NDVI} - 0.2011$ (15)
LAI	$\text{LAI} = 1/0.8 \ln(0.91 - \text{NDVI}/0.91 - 0.14)$ (16)
	$\text{LAI}^* = 0.0287 e^{(5.081 \cdot \text{NDVI})}$ (17)

2.8. Exemplos de aplicações detecção remota nas culturas

As técnicas de detecção remota baseadas na análise das imagens satélite têm-se demonstrado úteis na rega. Em (Toureiro et al., 2017) é levado a cabo um estudo sobre a rega do milho, com rega através de rampa pivotante. Neste artigo, realizado na zona do Alentejo, a aplicação de métodos de correlação entre os valores de NDVI e os coeficientes culturais permitiu uma redução de 20% das necessidades de rega calculadas pela metodologia da FAO. O estudo consistiu na aplicação de três metodologias de cálculo das necessidades de rega: (a) através da utilização de dados de detecção remota, (b) dados baseados na recomendação da FAO para as necessidades hídricas, e (c) valores experimentais medidos no local. Para além da duração dos estágios de crescimento da cultura, determinados através do procedimento (a), serem similares aos determinados com (c), as necessidades de rega calculadas através de (a) também se aproximava mais de (c). A comparação das necessidades hídricas de (a) e (b) resultaram numa diferença de mais 20%, concluindo-se que as necessidades estavam sobrestimadas no método (b).

A maior eficiência do uso da água pelo método (a) e (c) foi apontada por Toureiro et al. (2017) como sendo o resultado da combinação de durações mais curtas dos estágios de crescimento do milho e mais próximas da realidade da cultura (englobando, por exemplo, a especificidade do clima, cultivar, região, etc.).

Falcão (2019) acompanhou em Portalegre parcelas de olival, utilizando alguns índices vegetativos, NDVI e NDWI, para avaliar a variação espacial, analisando o volume das árvores, o rendimento, a produtividade e a quantidade de azeite em três subáreas dentro de uma parcela. O estudo desenvolvido revelou que esses índices conseguiram explicar a variação no volume das árvores. Contudo, não conseguiram explicar totalmente a variação na própria parcela, assim, foi testado um novo modelo, dividindo a parcela em duas subáreas com base no volume das árvores. Desse modo, conseguiu-se demonstrar a extensão da variação espacial na produtividade e no rendimento de azeite dentro da parcela. Notou-se que as árvores de maior volume produziram mais, mas tiveram um menor rendimento de azeite.

Entre outros aspetos, concluiu-se que dois fatores limitavam a produção nessa parcela: o solo e a água. No que diz respeito à água, verificou-se que as aplicações eram consideravelmente menores do que as recomendadas. Se a água não fosse um recurso escasso, sugeriu-se que seria benéfico aplicar mais água nas áreas com menor vigor, de modo a aumentar a produtividade, mesmo que isso resultasse em rendimentos ligeiramente mais baixos.

2.9. Rega de Precisão

A rega de precisão tem uma estreita relação com o conceito de agricultura de precisão, apesar de diversas vezes ser usada para designar tecnologias ou materiais de gestão da rega. Pode-se definir como rega diferencial da parcela, ao contrário da rega uniforme que está associada à gestão tradicional da rega.

A rega de precisão centra-se em plantas individuais, ou pequenas áreas dentro de uma parcela enquanto que a prática tradicional adota uma abordagem de "campo inteiro".

Podemos ainda apontar algumas características fundamentais como:

- Gestão ótima das componentes espaciais e temporais da rega,
- Combinação perfeita entre o desempenho ótimo do sistema de aplicação e a gestão da cultura, da água e dos fertilizantes;
- Possível aplicação a todos os métodos de rega e para todas as culturas à escala espacial e temporal apropriada.

3. Materiais e Métodos

No âmbito da presente dissertação pretende-se estimar os parâmetros da cultura (coeficientes culturais e duração das fases do ciclo da cultura) com base em dados de deteção remota. Para isso ir-se-á explorar o software *Google Earth Engine* (GEE), para o fornecimento de séries temporais de índices de vegetação de uma dada parcela que permitam a obtenção dos parâmetros das culturas tendo em conta dados obtidos através de “earth observation”. Tendo por base os valores obtidos através de imagens de satélite (Sentinel-2) será realizada a estimativa dos consumos de água para rega de um dado aproveitamento hidroagrícola. Paralelamente pretende-se quantificar o ciclo fenológico das culturas, determinando-se o seu tempo térmico através da utilização de séries temporais de NDVI com vários anos. Desta forma será possível modelar as fases das culturas para diferentes cenários climáticos.

3.1. Descrição do local de estudo

O estudo considerou diversos Olivais na região do Alentejo, distrito de Évora nos concelhos do Alandroal, Monforte e Vila Viçosa, com especial atenção no perímetro de rega do Lucefecit. A localização de cada parcela é referida no Quadro 3. Dada a diversidade de tipos de olivais tornou-se importante localizar parcelas que fossem o mais representativas possível da multiplicidade dos mesmos. Desta forma, foram escolhidas nove parcelas. Três de cada tipo de olival, tradicional, em vaso e em sebe. A classificação das parcelas foi feita, primeiramente, através de imagens aéreas disponibilizadas pelo GEE com uma escala de 1:500. Desta forma, as parcelas 1, 2, 4 foram identificadas como Olival tradicional de sequeiro; as parcelas 5, 8, 9 como olival intensivo; e as parcelas 3, 6, 7 como olival superintensivo.

Quadro 3. Parcelas em estudo.

Parcelas	Freguesia	Concelho
1	Nossa Senhora da Conceição	Alandroal
2	São Pedro de Terena	Alandroal
3	São Pedro de Terena	Alandroal
4	Paul	Vila Viçosa
5	São Pedro de Terena	Alandroal
6	Bencatel	Vila Viçosa
7	Santo Aleixo	Monforte
8	Santo Aleixo	Monforte
9	Santo António (Capelins)	Alandroal

3.1.1. Caracterização climática

Em Portugal, o clima tem características marcadamente mediterrâneas em grande parte do território. Segundo a classificação climática de *Köppen*, o clima mediterrâneo (Cs) insere-se nos climas temperados (C), que têm pelo menos 1 mês com temperatura média inferior a 18 °C, sendo que todos os meses têm temperaturas superiores a -3 °C. Mais especificamente, o clima Cs distingue-se pelo facto de o mês mais seco ter menos de 1/3 da precipitação do mês mais chuvoso e a precipitação do mês mais seco ser < 30 mm. Ainda dentro do Clima mediterrâneo, existem duas variantes em função do tipo de verão. A região do Alentejo insere-se no clima mediterrâneo de verão quente (Csa), demarcado pela temperatura média do mês mais quente ser >22 °C.

Deste modo, a região em estudo, apresenta as temperaturas médias anuais moderadas, os verões relativamente quentes e secos e os invernos suaves e húmidos.

No diagrama Ombrotérmicos de Gaussen (Figura 8) criado a partir das normais climatológicas para o

período de 1971/2000, na estação meteorológica de Évora, é possível identificar um período seco, com a duração próxima de quatro meses, que se regista entre os meses de junho a setembro e onde o défice hídrico no solo chega a ser bastante acentuado.

A precipitação concentra-se sobretudo nos meses de novembro a março, sendo esses também os meses mais frios. Este fator, aliado à existência de dias curtos, conduz a reduzidas necessidades hídricas das plantas e, assim sendo, a uma reduzida utilização da água disponível (Tristany, 2010).

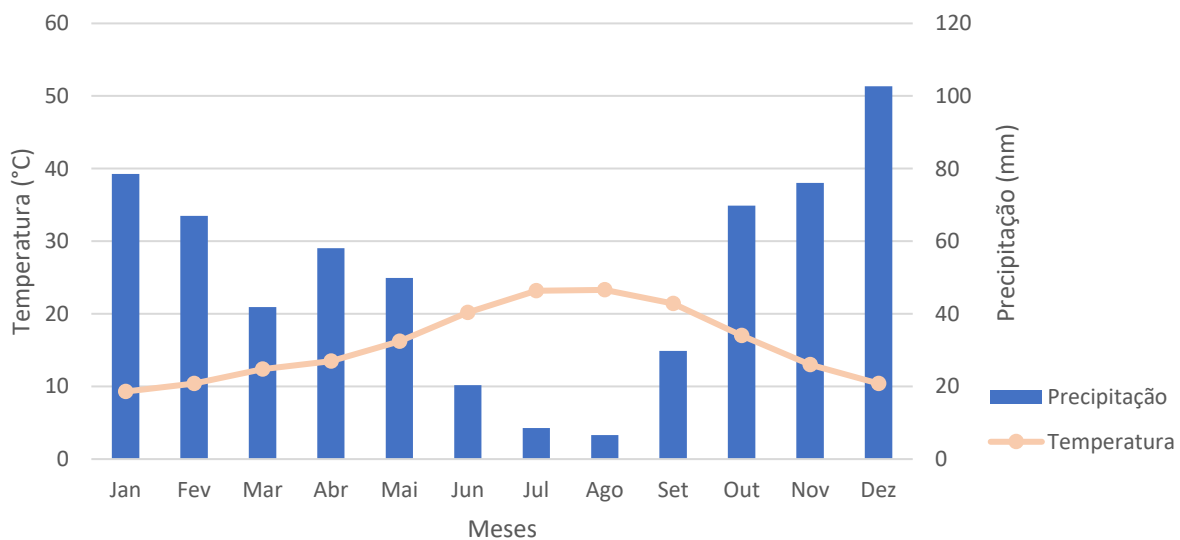


Figura 8. Diagrama Ombrotérmico de Gaussen, no período de referência 1971/2000, estação meteorológica de Évora. Fonte: IPMA.

3.1.2. Caracterização edáfica

Os solos das parcelas em estudo, de acordo com a classificação SROA (Cardoso, 1965), pertencem essencialmente a três ordens, solos insipientes, solos calcários e solos argiluvitados pouco insaturados. Os solos incipientes são solos não evoluídos, sem horizontes genéticos claramente diferenciados, praticamente reduzidos ao material originário. Por sua vez, os solos calcários são solos pouco evoluídos, de perfil AC, por vezes ABC com B câmbico, formados a partir de rochas calcárias e sem características próprias dos barros. Por fim, os solos argiluvitados pouco insaturados são solos evoluídos de perfil ABC com horizonte árgico.

No Quadro 4, podemos observar a percentagem aproximada de cada tipo de solo em cada parcela. Para além disso, também a classificação segundo a Classificação Portuguesa de Solos (CPS) e a possível aproximação à World Reference Base for soil (WRB) (Sousa et al., 2014).

Quadro 4. Classificação dos diferentes tipos de solo em cada parcela segundo a Classificação de Solos Portuguesa e correspondência com a WRB.

PARCELAS	TIPO DE SOLO	ORDENS/SUBORDENS (CSP)	WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL (WRB)	% DA ÁREA NA PARCELA
1	Ex	Litossolos	Leptosols	100
2	Sr	Solos mediterrâneos vermelhos	Luvisols	8
	Pc, Pcx	Solos calcários pardos	Calcisols	90
	Px	Solos mediterrâneos Pardos	Luvisols	2
3	Sr	Solos mediterrâneos vermelhos	Luvisols	88
	A	Aluviosolos	Fluvisols	12
4	Vcv, Vcc, Pvc	Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos	Luvisols	100
5	Ex	Litossolos	Leptosols	100
6	Vcc, Pvc	Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos	Luvisols	100
7	Px	Solos Mediterrâneos Pardos	Luvisols	88
	Ex	Litossolos	Leptosols	2
	Vm	Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos	Luvisols	10
8	Px	Solos Mediterrâneos Pardos	Luvisols	23
	Vx	Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos	Luvisols	41
	Ex	Litossolos	Leptosols	44
9	Pc	Solos Calcário Pardos	Calcisols	33
	Vx	Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos	Luvisols	67

3.2. Metodologia

3.2.1. Introdução

A distinção das necessidades de rega numa parcela tem de ser precedida por um trabalho de identificação da heterogeneidade dessa mesma parcela. Para a diferenciação das dotações rega é, por isso, em primeiro lugar, necessário encontrar variações no tipo de solo e no vigor vegetativo da cultura. Contudo, uma elevada divisão da parcela também pode provocar um aumento de custos que poderão não compensar os benefícios resultantes.

Portanto, podem-se distinguir quatro etapas para a identificação das zonas heterogêneas. A primeira corresponde à obtenção de informação relevante à detecção da heterogeneidade dentro da parcela, séries temporais de imagens de satélite calculando diferentes índices vegetativos, informação de solos, topografia, e fotografias aéreas. A seguinte etapa consiste na análise visual e combinação dos diferentes dados. Posteriormente, realiza-se a verificação da consistência heterogênea das subzonas identificadas com recurso a instrumentos estatísticos. Por fim, depois da delimitação das zonas diferentes faz-se o ajustamento das necessidades de rega de cada zona da parcela, como descrito na Figura 9.

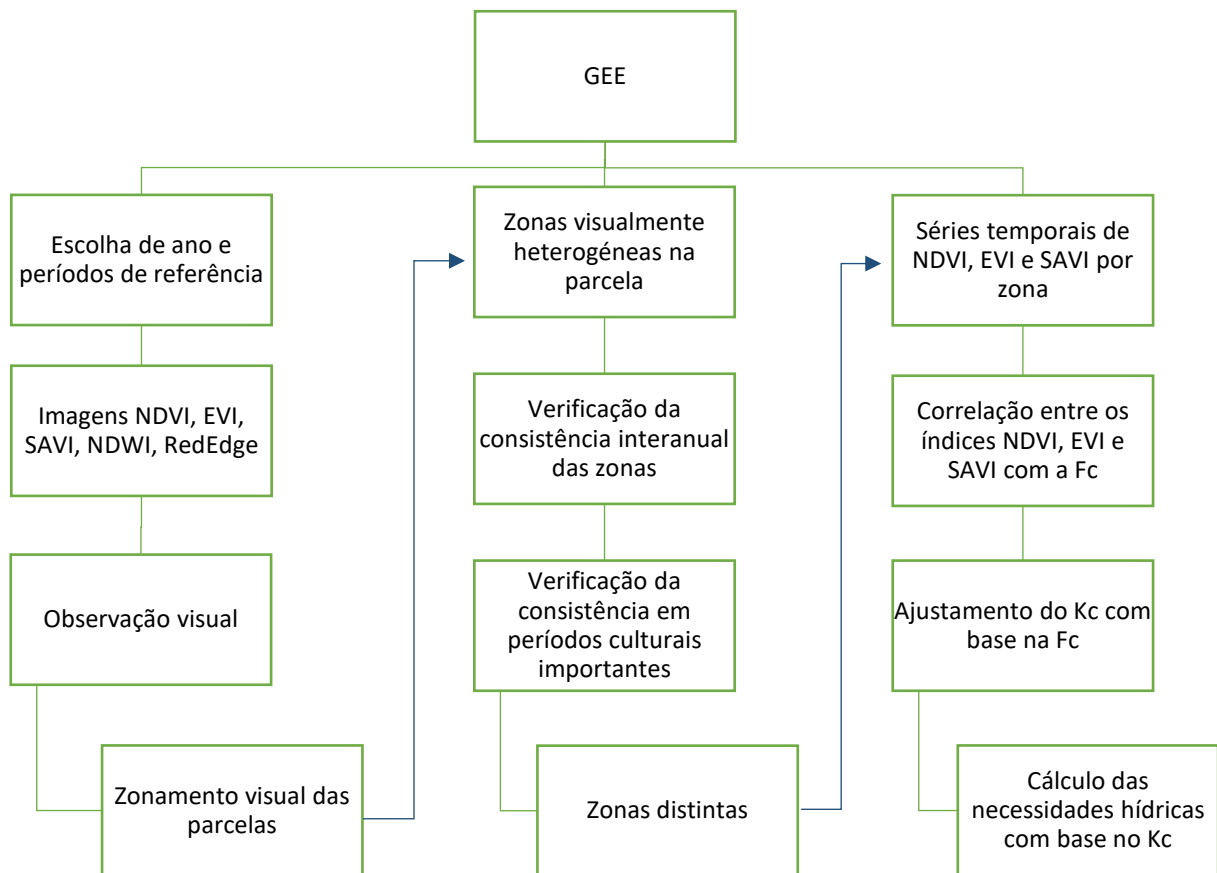


Figura 9. Fluxograma da metodologia utilizada.

3.2.2. Criação do Sistema de informação Geográfica

3.2.2.1. Google Earth Engine

A existência de ferramentas versáteis e que reúnam conjuntos de dados de várias proveniências é cada vez mais necessárias na agricultura. A crescente produção de dados por sensores mais detalhados e específicos de maior resolução resulta muitas vezes na incapacidade de reunião de informação. Por outro lado, o acesso a imagens satélite requer *software* com a capacidade de análise de grandes volumes de informação e de forma simples e intuitiva para permitir o trabalho dos dados. Por estas razões foi escolhido para o presente trabalho o Google Earth Engine, uma ferramenta da Google que permite o acesso a séries de imagens satélite históricas e posteriormente a criação de índices de vegetação e a possível importação dos mesmos. Para além disso, possibilita a importação de informação geográfica dos tipos de solo, declive e imagens aéreas.

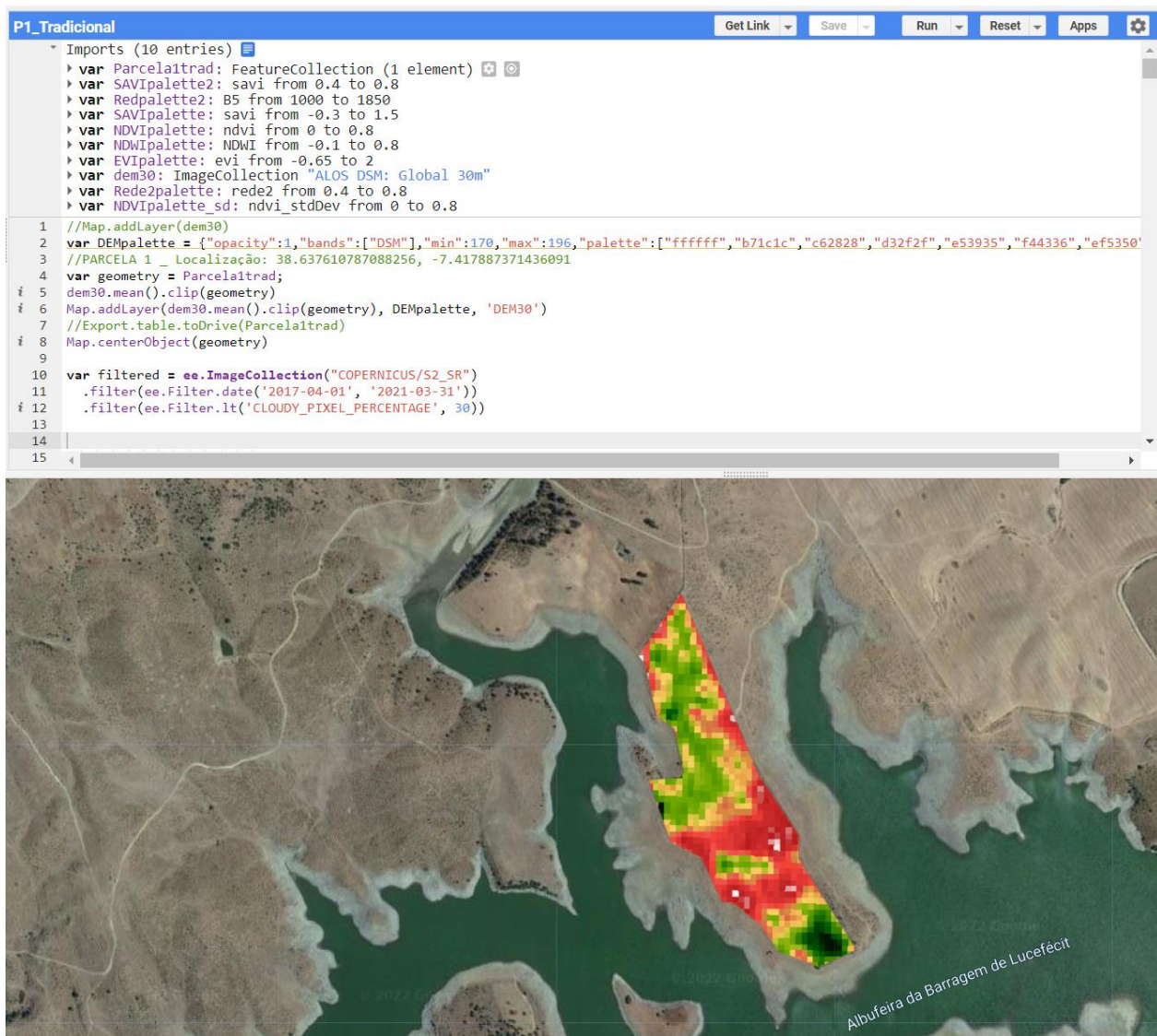


Figura 10. Editor de código do GEE e respetiva imagem de EVI da parcela P1 resultante.

3.2.2.2. Imagens Sentinel-2

A disponibilidade de imagens satélite de elevada resolução temporal e espacial é uma condição de base para a agricultura de precisão. Por um lado, a existência de imagens com maior resolução espacial permite identificar mais zonas heterogéneas dentro de cada parcela. Por outro lado, a maior resolução temporal possibilita a incorporação de uma variável de grande valor, o ciclo de crescimento da cultura. Com uma maior frequência de imagens podemos ter um maior pormenor na variação do estado da cultura e corrigir possíveis erros através do cruzamento de imagens. Esta frequência de imagens é muito oportuna dado que

muitas vezes existem nuvens na atmosfera quando o satélite passa numa zona e essa ocorrência diminui a qualidade da imagem ou impede mesmo a sua utilização, tal como explicado em 2.5. Por fim, também o custo é um ponto a levar em conta, dado que muitas das imagens de boa resolução espacial e temporal se revelam muito dispendiosas para a utilização na tomada de decisão das explorações agrícolas.

Nesta linha, foi escolhido o Sentinel-2 para o estudo desenvolvido, que pertence à missão Copernicus Sentinel-2, como já foi referido anteriormente. Este Satélite destaca-se pela criação de imagens de grande amplitude, alta resolução e multiespectrais, além do mais, está disponível publicamente. Para a obtenção de imagens satélite foi utilizado o GEE que, por sua vez, obtém as imagens através da plataforma Copernicus.

As bandas B2, B3, B4, B5 e B8 foram utilizadas para calcular os índices de vegetação, sendo que têm diferentes resoluções espaciais, tal como referido em 2.5.

Seleção das imagens Sentinel 2

As imagens de satélite são captadas no cimo da atmosfera, o que exige a posterior correção das imagens. Em primeiro lugar foi importante a correção das interferências e para isso foram utilizadas as imagens de nível 2A, chamada *orthoimage Bottom-Of-Atmosphere (BOA)*, que são imagens já processadas contendo correção atmosférica das imagens de nível 1A, *Top-Of-Atmosphere (TOA)*. De seguida, descartou-se as imagens que tivessem mais do que 30% de nuvens. Aplicou-se uma máscara de nuvens às imagens restantes, a partir da função *mask clouds*, usando a banda QA do Sentinel-2 facultada no conjunto de dados, com o objetivo de remover os restantes píxeis que continham a presença de nuvens e sombra (SUHET, 2015).

A plataforma GEE disponibiliza imagens de Sentinel-2 desde o dia 28/03/2017, desta forma, tentou-se adquirir o máximo de imagens, o que resultou em quatro anos de imagens desde 01/04/2017 a 31/03/2021. Em média foram extraídas 300 imagens multiespectrais para análise, já filtrando as imagens de baixa qualidade devido à presença de nuvens.

3.2.2.3. Períodos de análise das séries temporais (floração, stress e colheita)

No tratamento de imagens satélite notou-se que seria importante, numa primeira fase, definir um ano de referência, de modo a avaliar as imagens de forma mais detalhada. O ano de referência escolhido foi 2020, pela proximidade da data ao estudo do presente trabalho e pelo facto de não terem sido registados fenómenos meteorológicos extremos.

Para além desta escolha, o ano de 2020 foi dividido em três fases de importância para o ciclo vegetativo do Olival. A floração, que para a maioria das cultivares se localiza entre março e maio (Alcalá & Barranco, 1992). A fase de *stress*, onde a oliveira reduz a sua atividade, de junho a agosto. E a fase da colheita de outubro a novembro (J. M. Falcão, 2019).

A necessidade da divisão por três fases foi inevitável na medida em que, durante esses três períodos, as particularidades, quer da própria planta, quer das condições externas à oliveira, se mostraram substancialmente diferentes. Na primeira fase, de fevereiro a abril existe a diferenciação floral e de abril a maio a floração propriamente dita. Nesta fase existe uma intensa atividade biológica e um substancial crescimento vegetativo. De igual modo, também a vegetação da entrelinha pode ser considerável, principalmente no olival tradicional e em vaso onde não exista um controlo da vegetação. Na segunda fase, ocorre o desenvolvimento do fruto e, simultaneamente, uma ausência de precipitação e elevadas temperaturas. Estas condições, características do clima mediterrâneo, provocam o fecho dos estomas e uma redução fotossintética como resposta às temperaturas elevadas, normalmente superiores a 35 °C. Por fim, a última fase da colheita, em que existe a maturação dos frutos e aumento da atividade metabólica. O período de dezembro a fevereiro não se considerou relevante para a identificação das sub-zonas dado que a oliveira se encontra num estado de repouso vegetativo, podendo a vegetação circundante deturpar os resultados obtidos através das imagens de satélite.

3.2.2.4. *Séries temporais dos índices de vegetação*

Com as bandas do Sentinel-2, através do editor de código do GEE, calcularam-se índices que, de seguida, foram adicionados à imagem de satélite de forma a devolver séries de imagens com valores de cada índice para cada pixel e para cada imagem disponível no período analisado. Os índices vegetativos que foram utilizados permitiram reunir um conjunto de imagens para possibilitar a tomada de decisão a vários níveis pretendidos. Em conformidade com a bibliografia já descrita, observou-se que os índices vegetativos analisados têm diferentes aptidões. O NDVI é sem dúvida o mais largamente utilizado, foi um dos primeiros a ser desenvolvido e tem tido bons resultados na sua aplicação. Os outros índices como o SAVI, EVI, NDWI foram melhorias deste primeiro. No caso em estudo, para definir as zonas utilizou-se em primeiro lugar o NDVI. Os outros índices possibilitaram o complemento da informação e decisão visual para a delimitação. O SAVI mostrou-se particularmente relevante nas parcelas com uma baixa cobertura de solo (maioritariamente olival tradicional), o EVI com foco nas parcelas com uma maior cobertura de solo e o NDWI nas parcelas que revelam a existência de zonas com maior humidade do solo.

Na análise de consistência das zonas foi usado o NDVI dado que não se pretendia uma divisão exagerada da parcela que resultasse numa diferença permanente de qualquer zona delimitada. De facto, necessita-se precisamente do contrário, ou seja, a garantia que as subzonas de uma parcela são claramente heterogéneas, uma vez que o número de subzonas com tratamento diferente dentro de uma parcela é proporcional aos custos de produção.

Para a divisão da parcela em zonas através de imagens NDVI foi utilizado, em primeiro lugar, o período de *stress* dado que nele a vegetação herbácea da entrelinha não exercia grande influência.

Agregação das imagens

Depois de concluída a seleção das imagens com qualidade apropriada procedeu-se à agregação das imagens, de forma a obter um valor mediano de casa pixel para o período pretendido. Deste modo, constatou-se que o processo mais eficaz seria a obtenção da mediana do período para cada pixel. Com esta metodologia, conseguiu-se eliminar os pixels de valores muito elevados, que poderão corresponder a incorreções de algumas imagens, como condições meteorológicas adversas, falhas de dados, erros de imagem. Tal não se verificava caso se procedesse à agregação com base na média, dado que esta inclui todos os dados observados mesmo que *outlier* e estes valores poderiam influenciar negativamente o resultado.

3.2.2.5. Validação dos resultados do GEE

Para validar o cálculo dos IVs pelo GEE foram testadas algumas amostras de parcelas e índices. Os dados foram recolhidos de forma isolada através da plataforma Copernicus (2014), sem qualquer uso do GEE. De seguida, foram importadas as imagens multiespectrais para a plataforma QGIS e calculados os repetivos índices EVI e NDVI para a imagem. Procedeu-se também ao cálculo destes IV's através do GEE de forma a obter a imagem de igual data. Por fim, selecionou-se a mesma coordenada da parcela 6 nas duas plataformas e identificou-se um valor de NDVI e EVI semelhante nas duas metodologias.. No Anexo 3 são apresentadas as respetivas figuras, onde se verifica o bom desempenho do GEE.

3.2.3. Pré-zonamento das parcelas

3.2.3.1. Pré-zonamento Visual

Na agricultura, a variabilidade de condições dentro de uma parcela está continuamente presente e desde muito cedo se percebeu que a forma mais fácil de gestão era admitir também um manejo diferenciado, consoante a maior ou menor expressão de cada zona (Molin et al., 2015). Desta forma também se procedeu a uma primeira divisão da parcela, apenas com interpretação visual. Cada parcela foi assim dividida em 3 zonas: Zona 1, de vigor baixo, Zona 2, de vigor médio, Zona 3, de vigor elevado. É de notar que cada zona pode corresponder a várias partes da parcela, tendo todas essas partes valores de vigor semelhantes.

Para a construção destas zonas foram utilizados e índices de vegetação (NDVI, NDWI, SAVI, EVI, NDRE) construídos através do GEE com base nas imagens do Sentinel-2. Para além disso, foram considerados os diferentes tipos de solo da carta de solos de Portugal, bem como o declive dentro da parcela e as imagens aéreas a uma escala de 1:500, disponibilizadas no *software* GEE (Figura 11).

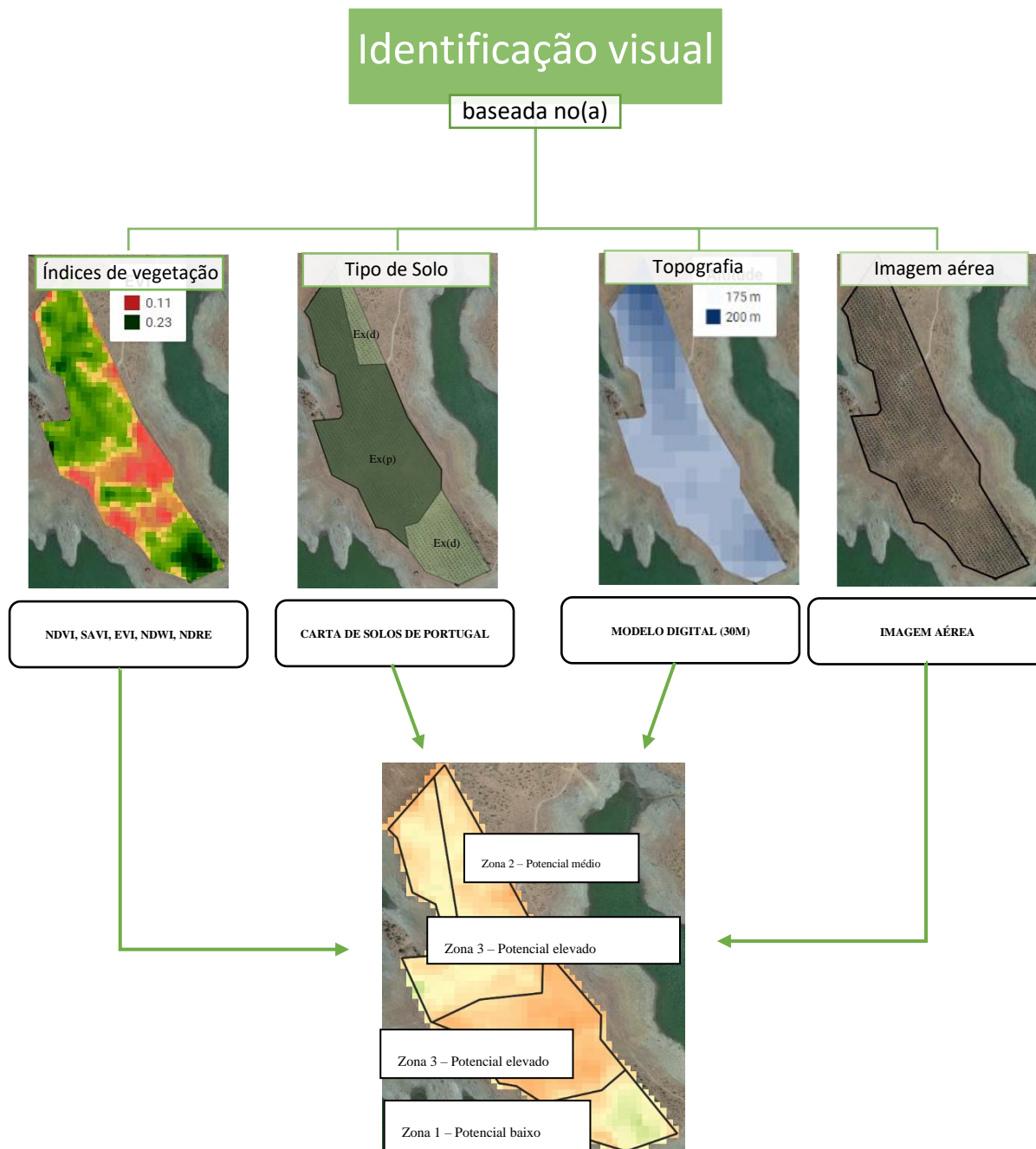


Figura 11. Esquema da identificação visual das parcelas para a divisão em zonas. Utilização de índices de vegetação, tipo de solo, topografia e imagem aérea.

3.2.4. Análise da consistência das zonas observadas

3.2.4.1. Desenvolvimento do método da análise em “T”

Com o intuito de simplificar uma primeira abordagem ao delineamento de zonas, tal como foi dito acima, tornou-se inevitável simplificar as imagens reduzindo-as a um ano de referência e à fase de stress onde são mais evidentes as diferenças entre zonas. Todavia, reconheceu-se que seria necessária uma verificação da estabilidade das zonas, quer ao longo dos diversos anos em análise (2017-2020), quer ao longo das diferentes fases do ciclo anual do Olival. Com esse intuito, na Figura 12 está representado um diagrama da análise feita às diferentes imagens NDVI. Como foram analisadas várias parcelas (9 parcelas), anos e períodos não foi possível fazer todas essas combinações para todas as parcelas e, assim, foi apenas feito para os 3 períodos no ano de 2020 e apenas o stress para os restantes anos, para cada parcela. A esta análise deu-se o nome de “Análise em T”, para efeitos de maior organização.



Figura 12. Análise em "T" da consistência das subzonas heterogêneas da parcela de Olival.

3.2.4.2. Histogramas de imagens NDVI

A análise de uma imagem de forma apenas visual pode provocar a incorreta interpretação da mesma, devido à subjetividade do observador e à inexistência de valores de referência para a realização da análise da variabilidade espacial. Por esta razão, recorreu-se aos histogramas das imagens. Os histogramas permitem

obter uma frequência relativa para cada valor do pixel numa parcela. De igual modo, possibilita uma divisão mais direta em zonas, devido à existência de intervalos de valores, como por exemplo de NDVI, de maior frequência.

Numa primeira abordagem construíram-se histogramas para todas as parcelas com base em imagens NDVI da totalidade da sua área. Devido à escassez de tempo foram apenas utilizadas imagens NDVI do ano de 2020 e do período referente ao stress, pelas razões acima descritas.

De seguida, foram construídos histogramas equivalentes, apenas com os valores de cada subzona da parcela. Ou seja, cada parcela conta com três histogramas, referentes à fase de stress do ano 2020, diferentes entre si. Ao comparar os histogramas da cada zona com o histograma da parcela na sua totalidade, permite verificar forma como os valores de NDVI se distribuem e o seu desvio relativamente à “média” da parcela.

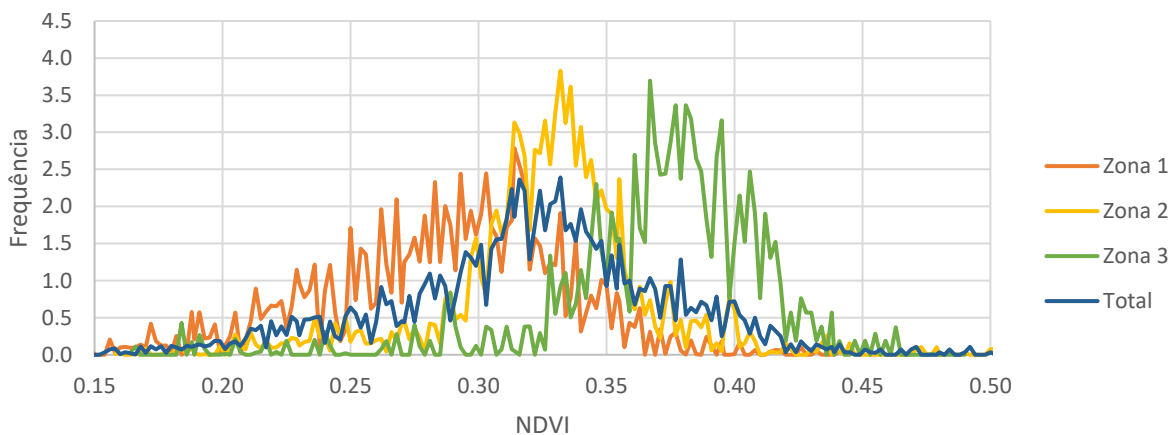


Figura 13. Frequência de Distribuição de píxeis de NDVI da parcela 5. As diferentes séries referem-se às diferentes zonas da parcela.

3.2.4.3. Função de distribuição acumulada de probabilidades das imagens NDVI

A segunda abordagem, foi o cálculo da função acumulada de probabilidades de valores de NDVI, resultando numa função de distribuição acumulada de probabilidades. Este método permitiu, em primeiro lugar, resolver o problema de simplificação de leitura entre as diferentes subzonas, permitindo avaliar as diferenças das mesmas. Em segundo lugar, permitiu identificar a zona de NDVI onde se localizam a maioria dos píxeis

da parcela. Por fim, constituiu uma ferramenta importante para a ponderação de gamas de NDVI característica dos três tipos de Olival: tradicional, intensivo e superintensivo.

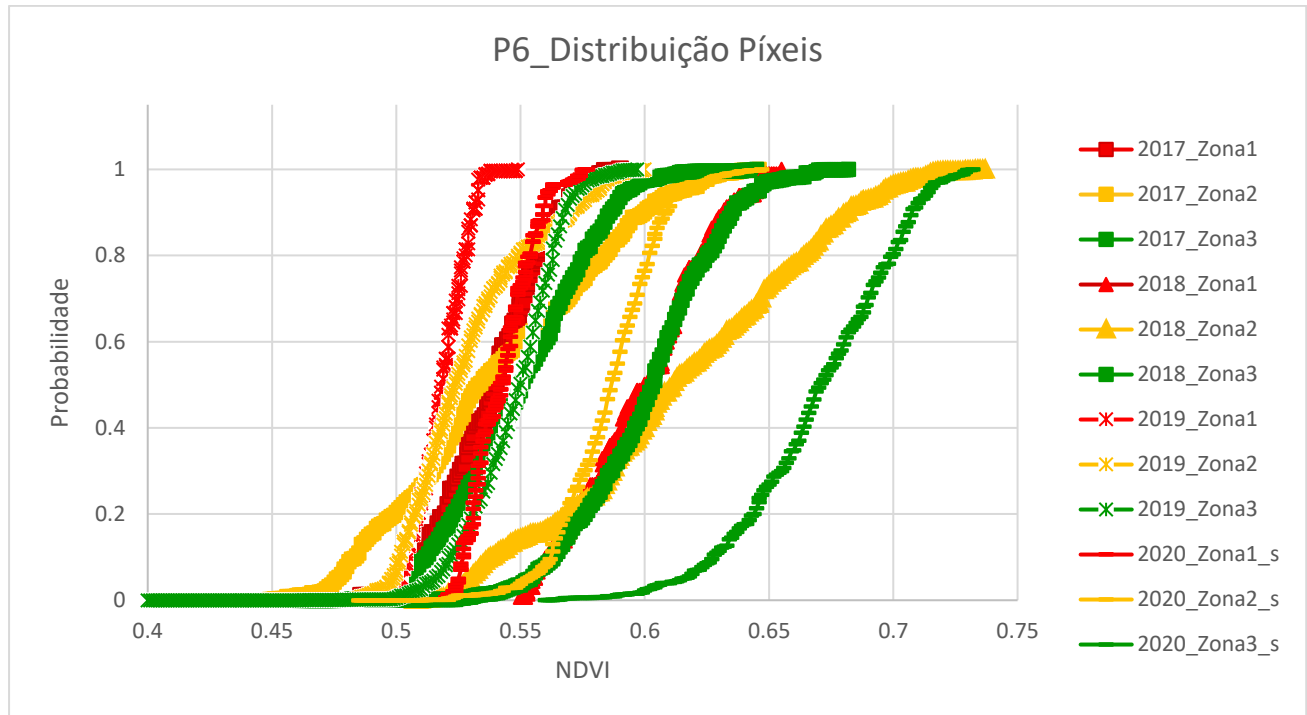


Figura 14. Gráfico da função de distribuição de probabilidades acumuladas de NDVI da parcela 6.

3.2.4.4. *Consistência condicional das zonas em cada ano e período*

Através dos testes descritos anteriormente conseguimos verificar, primeiramente de forma visual, se as zonas delimitadas, eram consistentes ao longo dos anos, tendo sido usado como suporte o índice NDVI. Neste ponto pretende-se usar os índices EVI, SAVI e NDVI com o objetivo de averiguar novamente a consistência das zonas, tal como nos pontos acima, mas desta vez com algumas diferenças no método utilizado.

Em primeiro lugar, é de notar que a utilização destes três índices permite detetar a distinção entre zonas a níveis diferentes. O EVI possui uma granularidade bastante fina, com uma capacidade de não saturar para valores elevados de clorofila, ao contrário do NDVI. Já o SAVI possui uma maior afinidade com a deteção de solo nu, sendo bastante aplicado ou em culturas que não preenchem totalmente o solo, ou na fase inicial de sementeira de muitas culturas.

Em segundo lugar, a abordagem escolhida para a análise dos dados foi a redução dos valores dos píxeis de cada zona para um único, aplicando a mediana dos mesmos. Deste modo, obtemos um valor de pixel mediano para cada zona, por ano, por época do ano, para cada subzona da parcela, e de cada índice.

Para cada parcela e cada ano, aplicou-se uma subtração entre as zonas descritas como tendo potencial mais elevado (zonas 3) e as zonas de potencial médio (zona 2). O mesmo se fez entre as zonas de potencial médio (zonas 2) e de potencial baixo (zonas 1). Para todos os valores positivos (superiores a zero) resultantes dessas operações, confirma-se a consistência da divisão dessa subzona, dado que a zona delimitada apresenta de forma consistente ao longo do tempo maior (ou menor) vigor vegetativo. Os valores negativos (inferiores a zero) permitem detetar os anos em que as zonas de potencial mais elevado não verificaram essa hipótese (Figura 15 e Figura 16).

$$\begin{array}{ccc} \text{Zona 3} & - & \text{Zona 2} & > 0 \\ \underbrace{\hspace{10em}} & & \underbrace{\hspace{10em}} & \\ \text{Anos} & & \text{Anos} & \\ \text{Parcelas} & & \text{Parcelas} & \\ \text{IV} & & \text{IV} & \end{array}$$

Figura 15. Condição para o sucesso da consistência entre a zona de maior potencial e a zona de potencial médio.

$$\begin{array}{ccc} \text{Zona 2} & - & \text{Zona 1} & > 0 \\ \underbrace{\hspace{10em}} & & \underbrace{\hspace{10em}} & \\ \text{Anos} & & \text{Anos} & \\ \text{Parcelas} & & \text{Parcelas} & \\ \text{IV} & & \text{IV} & \end{array}$$

Figura 16. Condição para o sucesso da consistência entre a zona de potencial médio e a zona de menor potencial.

3.2.5. Aplicação diferenciada de Rega

No que toca ao trabalho desenvolvido, tem-se sobretudo em foco a etapa de aquisição dos dados que entraram para a estimativa de rega e o próprio cálculo das necessidades de rega através do modelo ISAREG.

Foi utilizado o modelo empírico da FAO 56 (Allen *et al.*, 1977), que tem em conta a ETo e o coeficiente

Kc, variável com a cultura. Esta abordagem, para além de ser menos complexa, é dotada de uma aplicabilidade numa base operacional, oferecendo também estimativas aceitáveis de estimativa da ETc.

No caso do Olival, os valores de Kc não são consensuais, muito pela fisiologia desta planta que quando a humidade relativa é baixa fecha completamente os estomas (Pastor, 1994), sendo dificultada a precisão do modelo. De igual forma, existem diversos maneios das culturas que dependem de cada contexto da exploração. Ora estes factos comprometem a transversalidade do valor estimado de Kc e a abordagem da FAO (Allen et al., 1998) não contribuindo com uma resolução unânime para o cálculo das necessidades hídricas, apesar do sucesso que possui numa panóplia de outras culturas. Como corrobora ainda Toureiro et al. (2017), mesmo para a cultura do milho, nas condições locais específicas deste ensaio, o método da FAO, sobrestima os valores de ET com os Kc da FAO.

Neste contexto surge a necessidade da utilização de outras formas expeditas de calcular o Kc. Como já citado acima (2.7.3), existem vários autores como González-Piqueras (2006), Toureiro et al. (2017), D'Urso & Belmonte (2006), (Spyropoulos et al., 2020) que utilizaram o índice NDVI para estimar o Kc. Com base nessa abordagem, foram calculados os índices NDVI para cada parcela de forma a resultar numa média anual de NDVI para cada parcela, utilizando para isso as imagens Sentinel 2. De seguida, através das fórmulas propostas pelos autores González-Piqueras (2006), Toureiro et al. (2017), D'Urso & Belmonte (2006) procedeu-se ao cálculo do Kc. Como podemos ver no exemplo da parcela 3 na Figura 17, que foi igualmente replicado nas restantes parcelas, o Kc estimado pelo NDVI, através das equações desenvolvidas pelos autores apresentados, apresentam graves discrepâncias. De facto, nos meses de maior disponibilidade de água no solo, a vegetação poderá interferir na estimativa, sobrestimando o Kc para mais de 1, para alguns meses. Nos meses secos, apesar de se aproximar bastante do Kc de referência, não explica exatamente o seu valor.

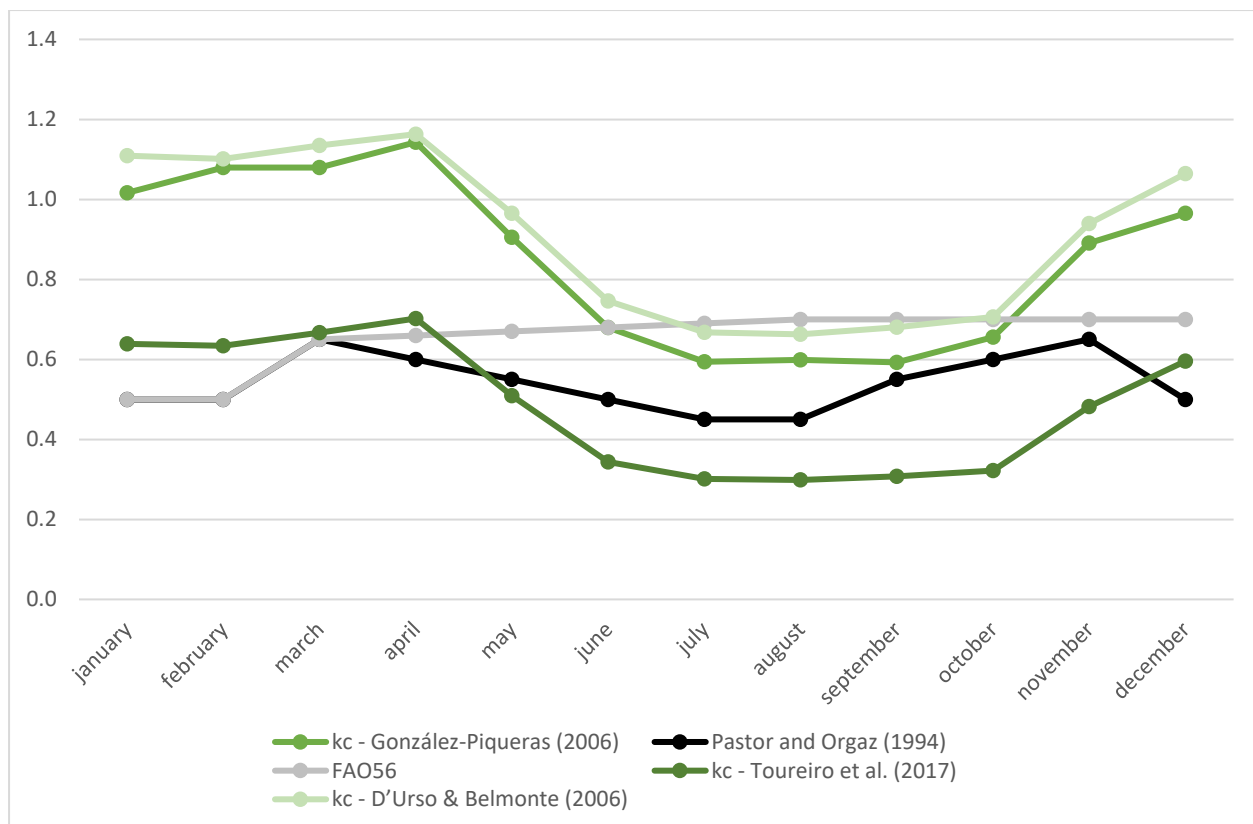


Figura 17. Valores de Kc resultantes da aplicação das diferentes abordagens: González-Piqueras (2006), Toureiro et al. (2017), D'Urso & Belmonte (2006), utilizando os valores de NDVI calculados para os anos 2017 a 2020 de imagens Sentinel 2, na parcela 3, em estudo, e Kc apresentados na FAO56 por Allen et al. (1998) e por Pastor e Orgaz (1994).

3.2.5.1. Fração de Cobertura do Solo

Como vimos acima, apesar de existir realmente algum tipo de correlação entre o Kc e o NDVI, defendida também por vários autores, no que toca ao olival, existem outras variantes que interferem na utilização destes índices vegetativos na estimativa direta do Kc.

A fração de cobertura do solo desempenha um papel importante na determinação da evapotranspiração da cultura através da estimativa do Kc (Allen et al., 1998). Por esse facto, o fc é contemplado também na abordagem desenvolvida para a rega do olival em Pastor (1994). Esse estudo tem sido muito utilizado quer em Portugal quer em Espanha para o cálculo do balanço hídrico.

Os valores de Kc obtidos por Pastor (1994) encontram-se no Quadro 5, num olival de 15 anos, da cultivar Picual, com 60% cobertura de solo, em Córdoba, Espanha. Esses valores de Kc foram estabelecidos para uma fração de cobertura do solo de 0.55 a 0.60. Para diferentes valores de fc é necessário o ajustamento dos valores de Kc.

Na Figura 37, foi adaptado o gráfico elaborado por (Pastor, 1994) e foi ajustado uma função polinomial de segundo grau (19). O valor máximo de fração de cobertura de 0,6 foi estimado pelo mesmo autor como sendo o maior valor de K_c , ou seja, o valor de 1, o que significa que não existirá qualquer redução do coeficiente cultural (K_c).

Quadro 5. Valores de K_c mensais elaborados para um Olival de 15 anos, em Córdoba, cultivar Picual (Pastor, 1994).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Kc	0.5	0.5	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.45	0.55	0.6	0.65	0.5

O cálculo da f_c (como dito anteriormente em 2.7.1) pode ser obtido através da interpretação de imagens digitais, sugerindo, uma relação, por um lado com a refletância do coberto vegetal e por outro com diversos parâmetros de vegetação (NDVI, SAVI, entre outros) (Calera et al., 2001).

Vários autores estimaram a f_c através do NDVI e do SAVI, no entanto, não existe um grande segurança nas correlações dado que foram mais investigados para culturas anuais, no caso de González-Piqueras (2006) para o trigo e para o milho, no caso de Toureiro et al. (2017) para o milho, no caso de (Cuesta et al., 2005) alfalfa, beterraba, alho e cebola.

Deste modo, foi desenvolvida uma abordagem para estimar o f_c das três subparcelas em cada uma das nove parcelas em estudo. Para isso foi utilizada a metodologia de González-Piqueras (2006), recorrendo a fotografias aéreas do Google Earth para calcular f_c , distinguindo o solo da copa da oliveira. Em cada subparcela escolheram-se aleatoriamente 20 árvores e assim foi estimada f_c de 540 árvores do total das 9 parcelas.



Figura 18. Delimitação da copa e do compasso para o cálculo da f_c , à esquerda, 20 árvores escolhidas aleatoriamente em cada zona da Parcela 5. À direita o pormenor de uma dessas árvores.

As fotografias aéreas disponibilizadas têm uma data específica (Quadro 6) pelo que para correlacionar f_c com os índices de vegetação utilizados (NDVI, SAVI, EVI) foi necessário que quer as fotografias aéreas, quer as imagens satélite multiespectrais para o cálculo dos índices de vegetação fossem contemporâneas.

Quadro 6. Data das imagens aéreas disponibilizadas pelo GEE para cada parcela.

PARCELAS	1	2	3	4	5	6	9	7	8
DATA	05/08/2017							04/05/2019	

3.2.5.2. Modelação do Balanço Hídrico do solo (ISAREG)

Os dados utilizados na separação das zonas da parcela, também foram utilizados no cálculo das necessidades hídricas, bem como, dados referentes ao solo, dados culturais e dados de meteorológicos.

O modelo ISAREG foi utilizado para o cálculo das necessidades de rega, para as parcelas regadas e para o balanço hídrico das parcelas de sequeiro (avaliação do défice hídrico).

Os dados referentes ao solo possibilitaram a estimação dos parâmetros físicos de cada tipo solo, como já em 3.1.2. Entre as características do solo foram utilizadas a profundidade, coeficiente de emurchecimento, capacidade de campo e densidade aparente do solo. Os dados meteorológicos e de precipitação garantiram a possibilidade de estimar as entradas de água e o cálculo da evapotranspiração.

Foram contemplados também os coeficientes culturais para cada período (floração, stress e colheita) e para cada ano. Através dos dados de satélite, pelo cálculo do EVI, foi estimada a f_c de cada zona da parcela para

cada período. Com o valor resultante procedeu-se ao ajustamento do Kc.

No que toca à estratégia de rega foi escolhido o esquema de rega para conforto hídrico, nas parcelas de olival em vaso e em sebe. Nas restantes de sequeiro, o esquema escolhido foi o esquema sem rega.

Para as condições iniciais de simulação da reserva utilizável (RU) foi utilizado o valor de 80%. Este valor é necessário como ponto de partida do modelo ISAREG. O valor de 80% foi o valor médio apontado para a região do Alentejo nos períodos em estudo para o mês de março (IPMA, 2019).

Em cada subzona de cada parcela fez-se uma simulação do balanço hídrico no solo de forma a contabilizar as diferenças relativas às necessidades de rega.

4. Apresentação de Resultados e Discussão

4.1. Pré-zonamento visual da parcela através dos IV

O zonamento das parcelas dependeu de vários fatores, atendendo à multiplicidade de características, quer da cultura em si, quer de todas as variáveis consideradas, solo, relevo do terreno e IV's. No entanto, a grande quantidade de dados gera muitas vezes dificuldade de utilização destes elementos, realizando-se por isso este primeiro pré-zonamento visual com base em imagens satélite.

4.1.1. Parcela 1

As Figura 19 a Figura 23 mostram os diferentes dados utilizados para caracterizar a parcela 1, de olival tradicional. Podemos observar que existe uma considerável falta de árvores na zona ao centro da parcela e igualmente um vigor reduzido, principalmente na época de *stress* que compreende os meses de maiores temperaturas e de menor precipitação. De notar ainda que a mancha de ausência de árvores corresponde também à zona de menor altitude. Estando perto de um reservatório de água é provável que a redução das árvores seja causada pela drenagem insuficiente.

Os solos da parcela 1, segundo classificação SROA de Cardoso (1965), inserem-se no conjunto de solos Ex, solos bastante insipientes e pouco profundos que possuem baixa capacidade de retenção de água. Deste modo, existe uma maior severidade nos períodos mais secos.

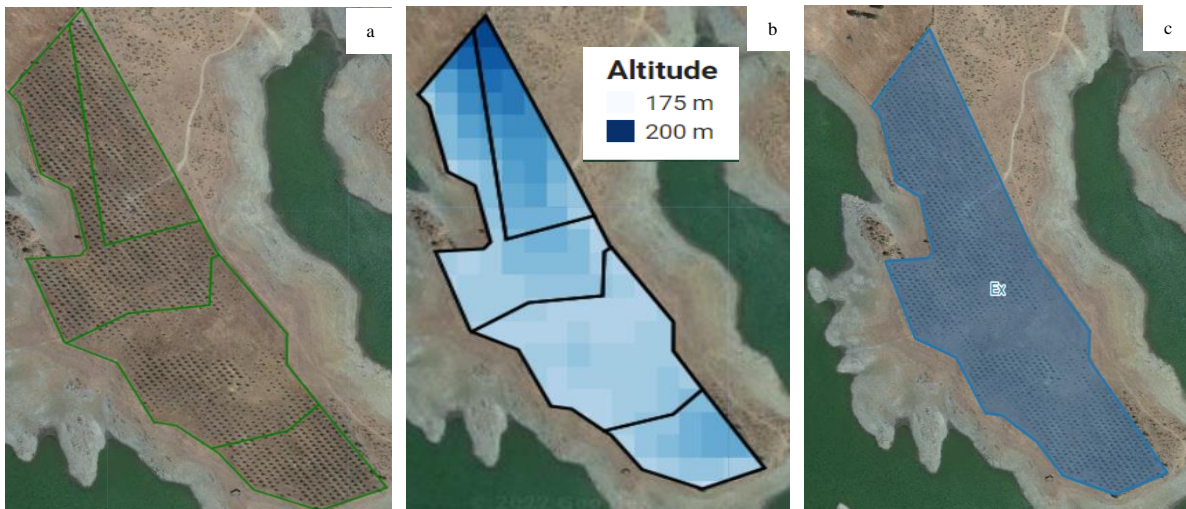


Figura 19. Parcela 1, olival tradicional. Desenho da parcela limites da parcela e zonas definidas “a”, tipo de altitude “b”, solo “c”.

Na Época de *stress* (Figura 20) é visível um índice de NDVI muito baixo (0.2) em certas manchas comparáveis ao NDVI de solos sem vegetação, por exemplo, caminhos e solo mobilizado. Na “Época colheita” existe um menor contraste, sendo que, essas mesmas manchas faladas anteriormente possuem muitas vezes os valores de NDVI superiores à restante parcela. Provavelmente pelo efeito da vegetação rasteira, que nesta altura do ano se desenvolverá mais nestas zonas com falhas de árvores.

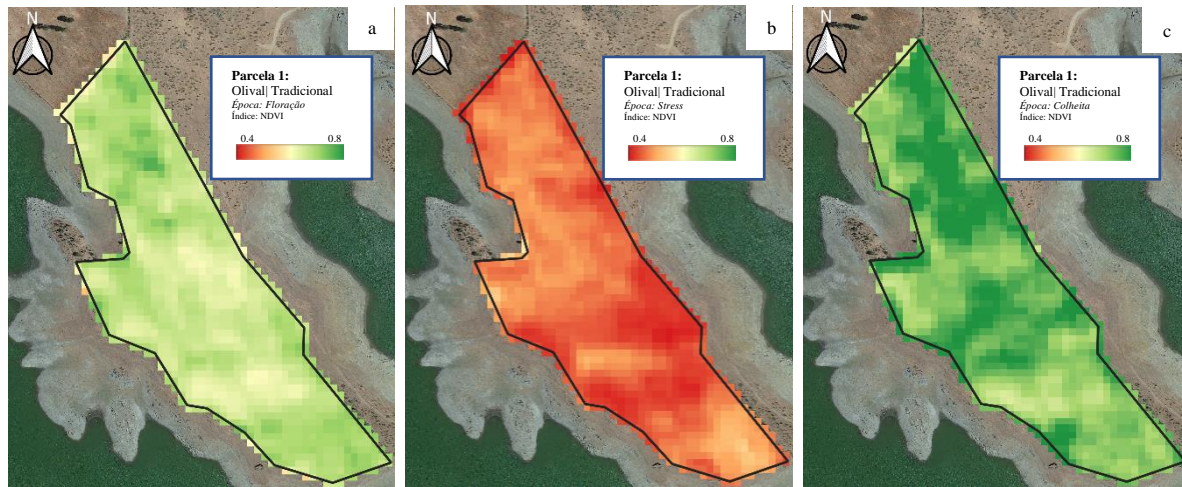


Figura 20. Imagens NDVI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas no ano 2020. A imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.

O índice EVI demonstra um melhor detalhe do vigor da parcela ao longo do ano, quer na época mais húmida como na mais seca. Na floração é visível uma grande mancha que corresponde à ausência de árvores correspondendo a uma menor densidade da cultura. Na Época de colheita existe uma menor saturação dos píxeis permitindo uma separação mais evidente das diferentes zonas da parcela.

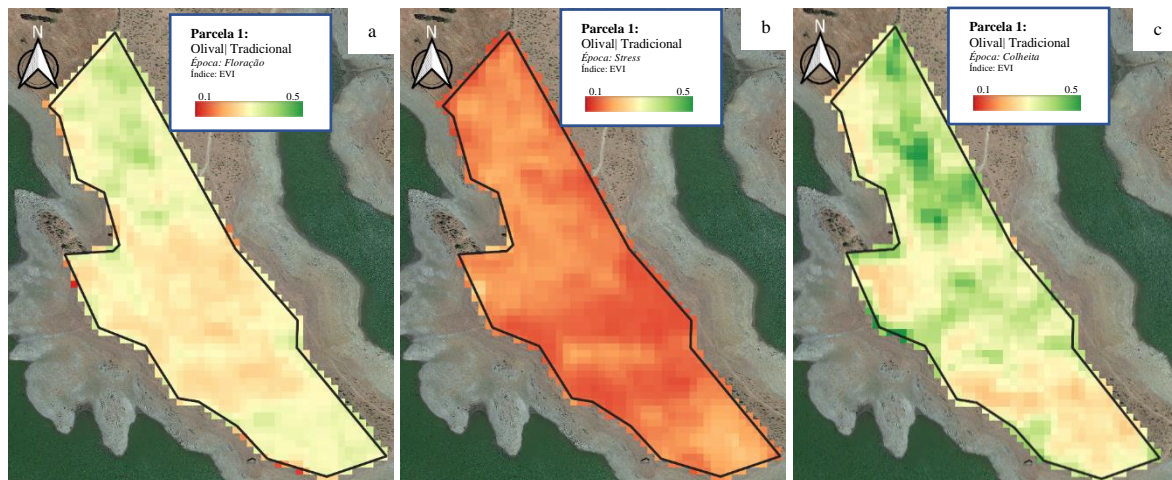


Figura 21. Imagens EVI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas no ano 2020. Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.

O índice NDWI não apresenta valores que permitam tirar conclusões sobre o teor de água no solo. As imagens, Figura 22, apresentam padrões sem uma expressa tendência que não parecem dar informação útil para a análise da cultura instalada. Este índice foi desenvolvido primariamente para a detecção de massas de água e foi mais tarde estudado como indicador do teor de água no solo. Possivelmente existe uma fraca expressão deste índice por não existir a presença de água em abundância nos solos em estudo.

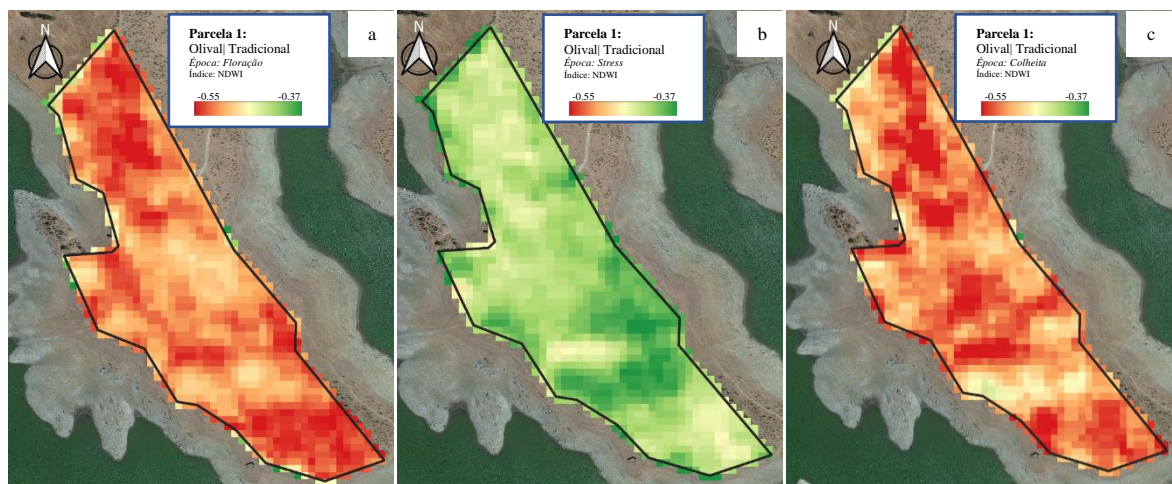


Figura 22. Imagem NDWI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas do ano referência (2020). Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.

A Figura 23 mostra as imagens SAVI da parcela 1 para as diferentes épocas. A separação entre a mancha de solo praticamente sem árvores e a restante parcela é bastante visível com uma expressiva amplitude de valor de índice nestas diferentes manchas. Os locais com maior percentagem de solo nu apresentam valores bastante baixos de SAVI, na ordem dos 0.15. Na época que envolve o maior vigor vegetativo, o olival apresenta manchas de valor mais elevado na ordem dos 0.4. Nesta parcela de olival tradicional não existe uma grande amplitude de valores de índice SAVI. No entanto, nesta condução da cultura o SAVI parece ter uma boa resposta ao nível da separação de zonas heterogéneas na parcela.

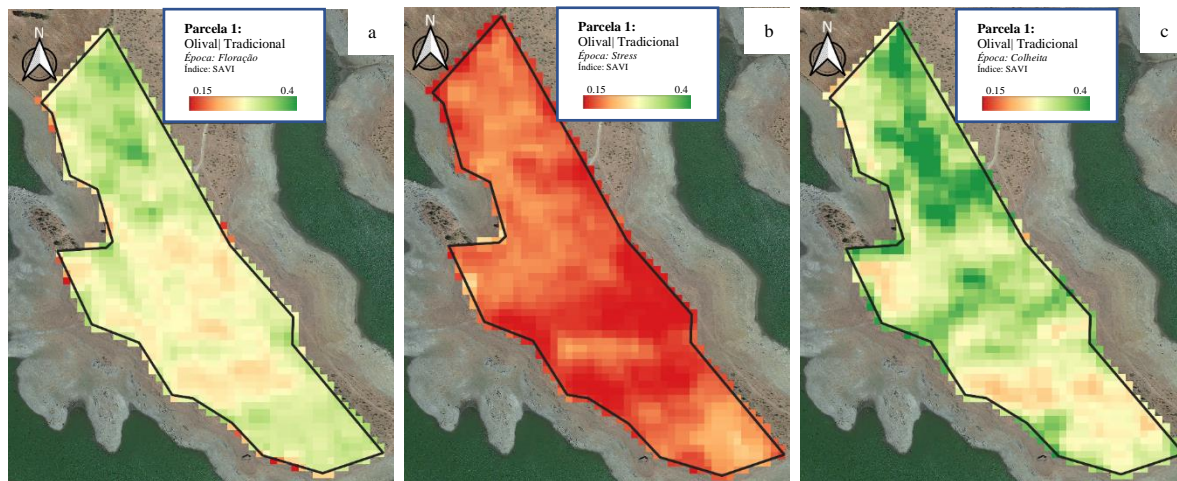


Figura 23. Imagens SAVI da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas do ano referência (2020). Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.

Na Figura 24 estão presentes três imagens NDRE. Os pixels são visivelmente maiores dada a utilização da banda do Red-edge. Ainda assim, estabelecem de forma eficaz uma diferenciação de manchas principalmente na época de maior stress. Neste período é visível uma mancha de NDRE mais baixo na ordem dos 0.1 que condiz com a menor densidade de árvores. Apesar de a zona de menor vigor se manter na época de floração, embora com menor nitidez, torna-se bastante esbatida na época da colheita.

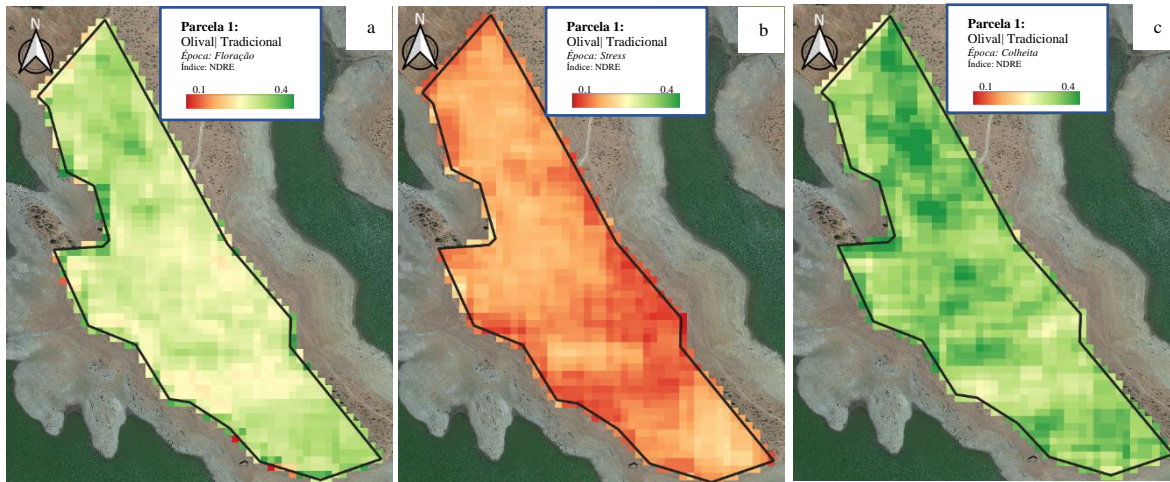


Figura 24. Imagens NDRE da Parcela 1, olival tradicional em 3 épocas do ano referênciada (2020). Imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.

4.1.2. Parcela 6

O olival em sebe tem a particularidade de, por princípio, conter uma maior densidade de oliveiras o que permite uma menor interferência da vegetação de entrelinha e de refletância do solo na análise remota da parcela. Este contraste é particularmente evidente nas estações do ano mais húmidas. Também a rega durante a época seca permite que a oliveira não entre em níveis de *stress* tão elevados o que possibilita um valor de índice de vegetação mais elevado comparado com outros olivais de modos de condução diferentes. Na Figura 25 podemos observar o olival em sebe da parcela 6, onde são visíveis a densidade de plantas elevada e a homogeneidade aparente do Olival.

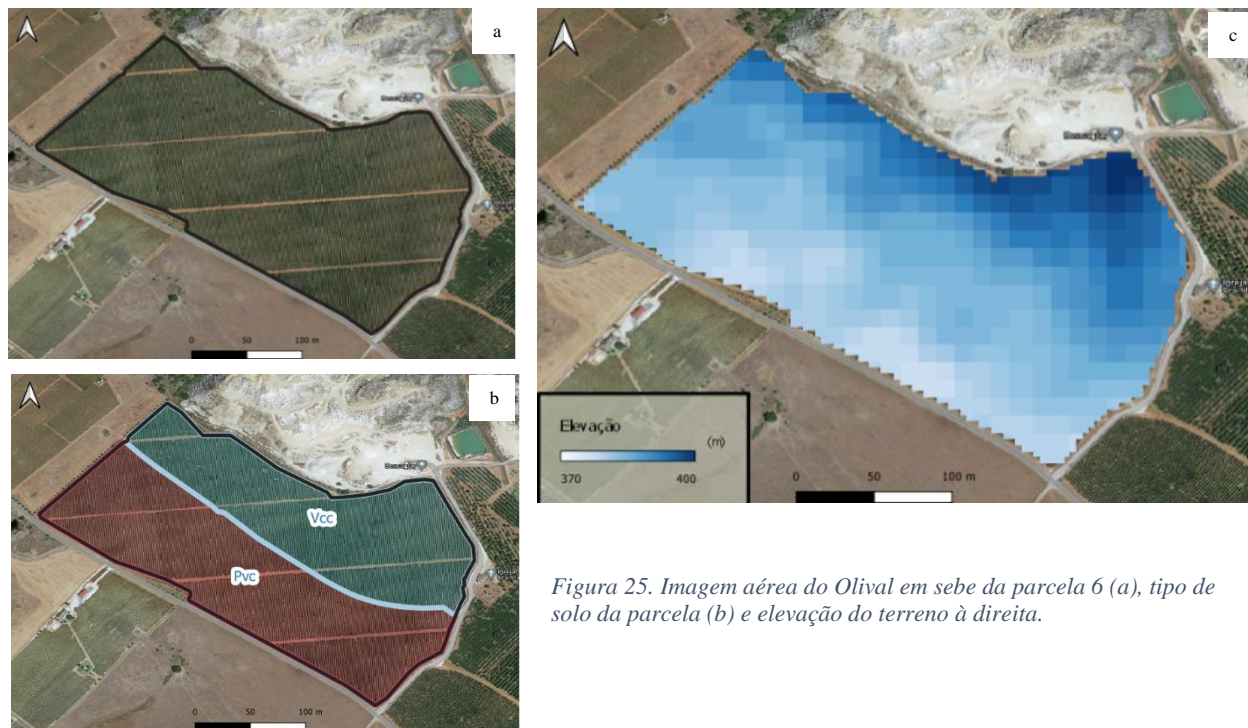


Figura 25. Imagem aérea do Olival em sebe da parcela 6 (a), tipo de solo da parcela (b) e elevação do terreno à direita.

Na Figura 26 podemos visualizar o valor de NDVI na parcela 6, no ano referência (2020) e nas três épocas em estudo. Podemos observar que em todas elas existe uma região muito bem distinta da restante parcela, que apresenta um valor superior de NDVI para as três épocas: na época da colheita o valor encontra-se na ordem dos 0.8 e na época da floração e do *stress* na ordem dos 0.65. Provavelmente será uma variedade distinta, dado que se nota com grande clareza uma mudança repentina do IV, o que demonstra que o maior vigor estimado será dificilmente fruto de diferentes tipos de solo, rega ou carências nutritivas.

É também de notar a existência de uma zona localizada a sudeste da parcela, constantemente marcada por um valor de NDVI inferior: na ordem dos 0.45 na floração, 0.5 no *stress* e 0.65 na colheita, o que indica a existência de uma zona de menor vigor.

As linhas com um valor de NDVI muito inferior aos restantes valores condizem com os caminhos delimitados nas fotografias aéreas disponibilizadas pelo GEE.

Por princípio, a imagem *a* da Figura 26 deveria ter valores de NDVI substancialmente superiores à parcela representada em *b*, dado que esta última compreende a estação mais seca. Uma razão que poderá explicar esse fenómeno é o facto de a rega se ter iniciado apenas em junho, ou seja, início da época de *stress* e, deste modo, proporcionar às árvores um maior vigor vegetativo do que na época anterior (março a maio) sem rega.

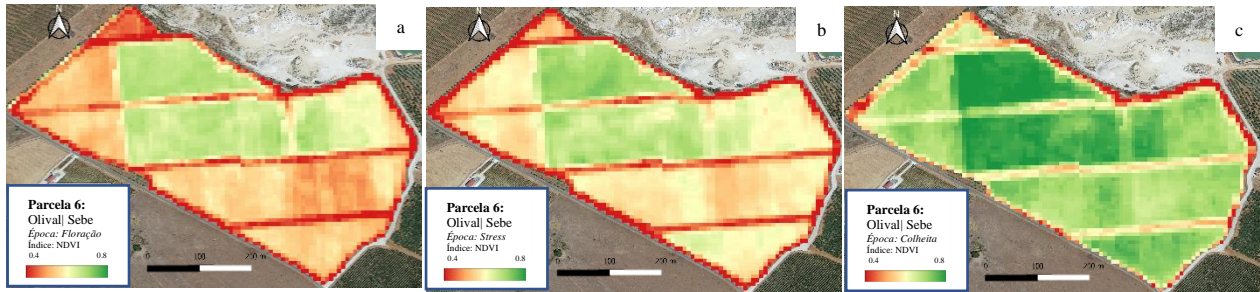


Figura 26. Imagem NDVI da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020). a imagem “a” na época da floração, “b” na época de maior stress e “c” na colheita.

As imagens de EVI vêm reforçar a informação já identificada nos valores de NDVI. No entanto, possuem maior detalhe. Em cada uma das imagens da Figura 27 é possível verificar uma zona mais vigorosa, dado o maior valor de EVI – na ordem dos 0.65 a 0.75 – tanto na floração como na época de stress e colheita. Os valores de maior amplitude de EVI são importantes para uma separação mais fina das diferenças entre zonas da parcela.

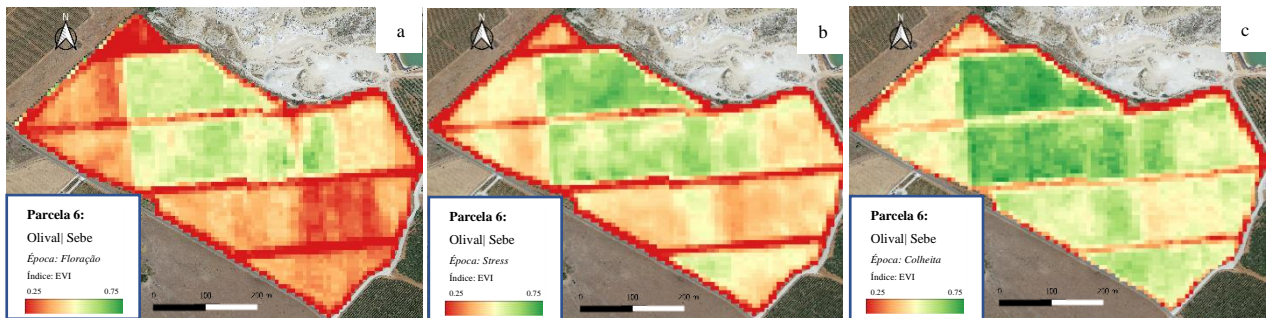


Figura 27. Imagem EVI da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020).

As imagens SAVI, na Figura 28, revelam a utilidade deste IV, principalmente para as condições de maior stress. Neste caso, na época da floração, parecem descrever de forma considerável as regiões de menor vigor com valores de SAVI de 0.25 a 0.35. De notar que a amplitude de SAVI nesta parcela, no ano considerado, é bastante reduzida, tomando valores de 0.25 a 0.45.

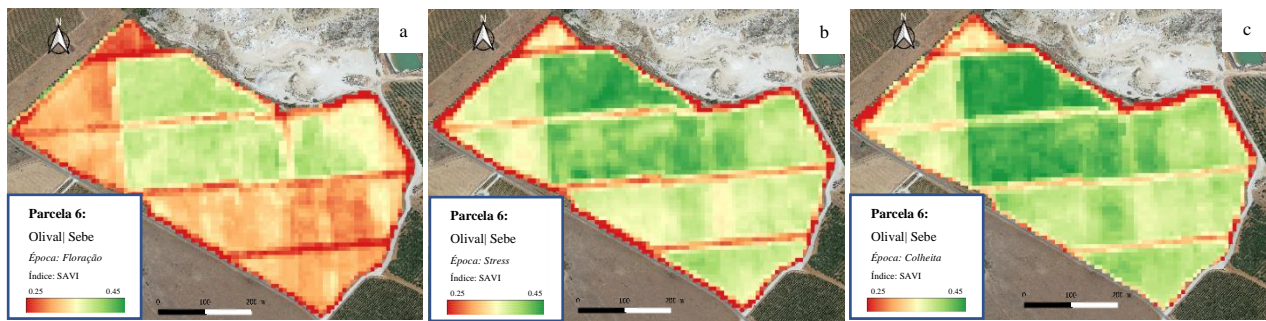


Figura 28. Imagem SAVI da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020).

As imagens NDRE permitem que seja feita uma análise ao longo da parcela com uma maior sensibilidade às estruturas celulares e à clorofila. Na Figura 29 é visível a larga distinção de um maior número de zonas. Também a amplitude do índice, de 0.25 a 0.6, contribui precisamente para tornar mais distintas as zonas nas imagens ganhando-se por isso, pormenor de análise.

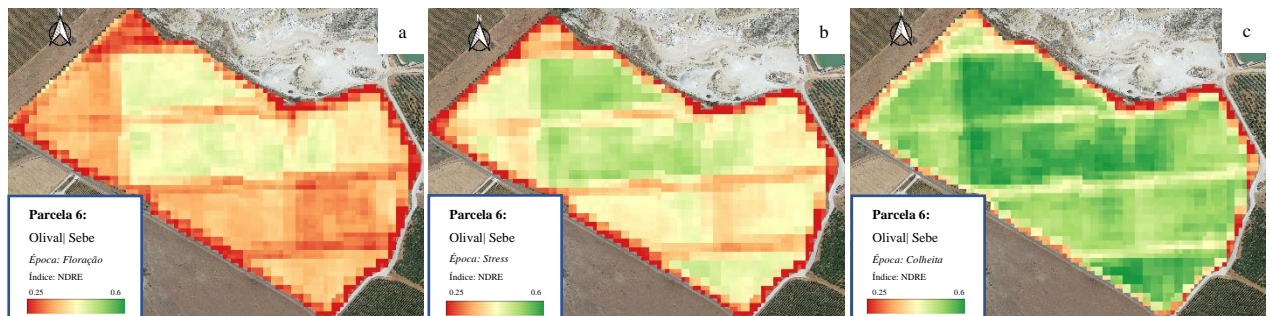


Figura 29. Imagem NDRE da parcela 6, olival em sebe em 3 épocas do ano referência (2020).

4.1.3. Parcela 8

A parcela 8 compreende um olival intensivo com uma heterogenidade bastante evidente nas imagens aéreas, com zonas sem árvores, zonas com oliveira de copa reduzida e noutras regiões com plantas mais vigorosas e com maior cobertura do solo. O solo identificado nesta região é também bastante diverso, tendo uma região de litossolos (Ex), solos mediterrâneos vermelho (Vx) e solos pardos (Px). O primeiro tipo, por ser mais pobre e de menor profundidade, confere às plantas uma menor capacidade de resistência a épocas mais secas. De facto, na região de litossolos, os índices analisados são tendencialmente menores.

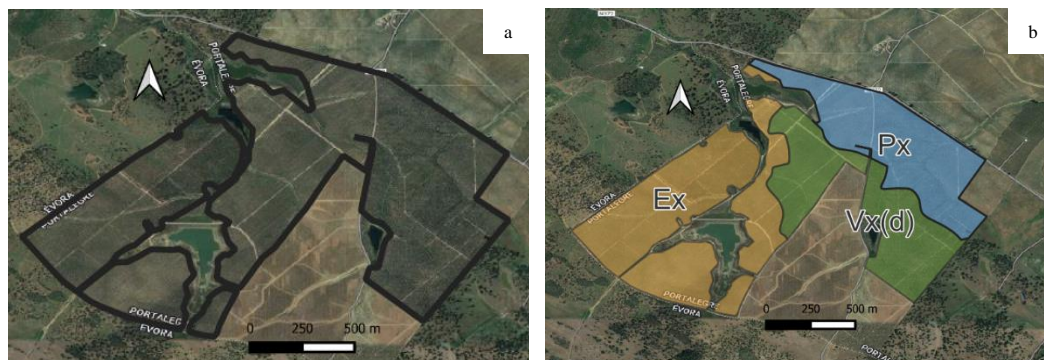


Figura 30. Imagem aérea da parcela 8, Olival intensivo (a) e respetivo tipo de solo (b)

Ambos os IV's, NDVI e EVI possuem uma gama de valores bastante elevada: No caso do NDVI, estes encontram-se na ordem dos 0.7, enquanto para o EVI apresentam-se na ordem dos 0.25, o que indica uma variabilidade muito grande no vigor das árvores (Figura 31). Para além desta ser uma parcela de área considerável e, deste modo, com maior tendência à heterogeneidade, apresenta também uma variabilidade grande no estado e vigor das oliveiras. A idade do olival pode também ser uma característica que contribui para a heterogeneidade, dado que existe mais perda de plantas, como é visível em certas zonas da parcela, e detetado pelas imagens dos IV's utilizados.

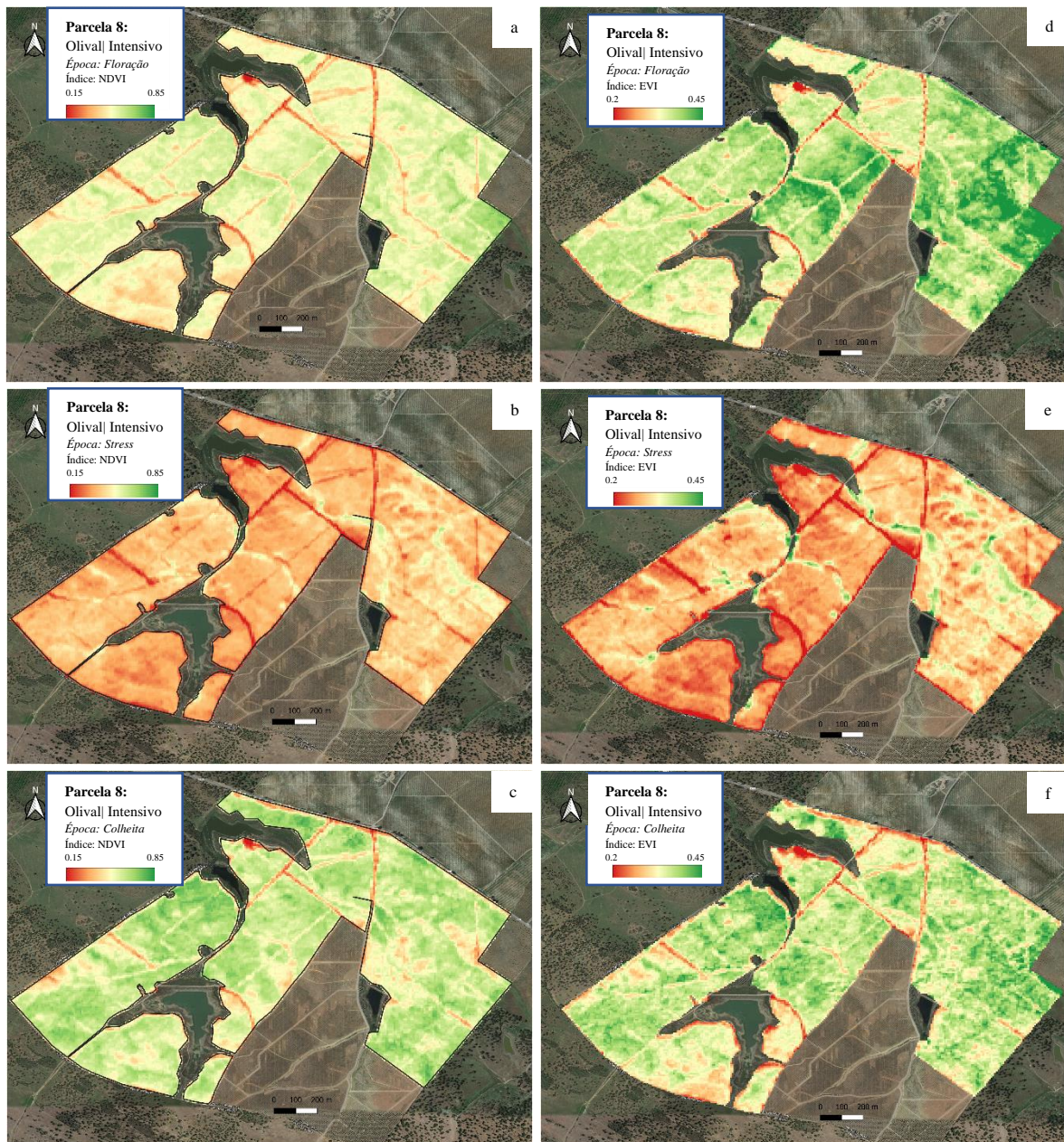


Figura 31. Imagens NDVI (a, b, c) e EVI (d,e,f) da parcela 8, olival intensivo em 3 épocas do ano referência (2020).

Na parcela 8 prevalece uma região mais vigorosa da parcela (na imagem *d* da Figura 31 é mais notória a região localizada no canto superior esquerdo) visível pelo maior valor de EVI e NDVI ao longo de maior parte das épocas do ano de 2020. Na época de floração, a imagem EVI é bastante indicativa dessa distinção à semelhança da época de stress. Na época de colheita essas diferenças tornam-se menos evidente.

4.2. Análise estatística da consistência das zonas identificadas

4.2.1. *Frequência da distribuição dos píxeis*

Em todas as épocas do ano de referência, a frequência de NDVI em cada zona é bem distinguida, por exemplo, na época que compreende a floração (Figura 32, (f)), existe uma clara concentração dos píxeis em valores menores de NDVI (0.41 a 0.53) na zona 1, correspondendo esta à zona de menor vigor. De seguida, os valores da zona 2, concentram-se entre os valores de 0.48 e 0.58. Por fim, a zona de maior vigor delimitada visualmente coincide com os valores de NDVI mais elevados (0.63 a 0.69).

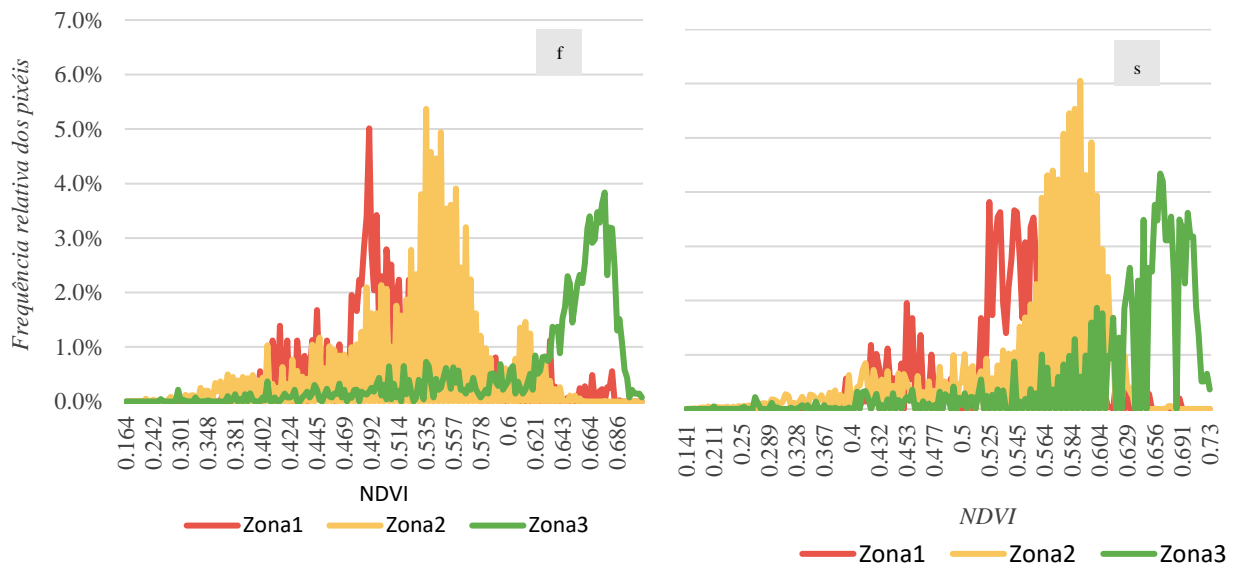


Figura 32. Histograma de frequência de píxeis, de valores de NDVI na parcela 6, Olival Em sebe, na época da floração (f) e stress (s).

Na época da colheita (Figura 33) onde existe maior disponibilidade de água e uma maior atividade do olival aliado, provavelmente, à diminuição do solo nu, existe claramente uma aproximação da % de frequência relativa de píxeis à mesma gama das diferentes zonas da parcela. Porém é possível uma clara distinção da zona 3. Isto significa que esta zona da parcela reúne um maior vigor do que as restantes, indicado pela elevada frequência de píxeis em valores próximos de 0.80.

Na Figura 32 e Figura 33 é possível, ainda, notar que existem alguns píxeis das imagens que assumem valores muito inferiores à média (inferiores a 0.30), mas que apesar de terem uma reduzida frequência relativa, estão presentes em todas as parcelas. Provavelmente, representam locais como caminhos ou solo nu que, em geral têm valores de NDVI dessa ordem de grandeza.

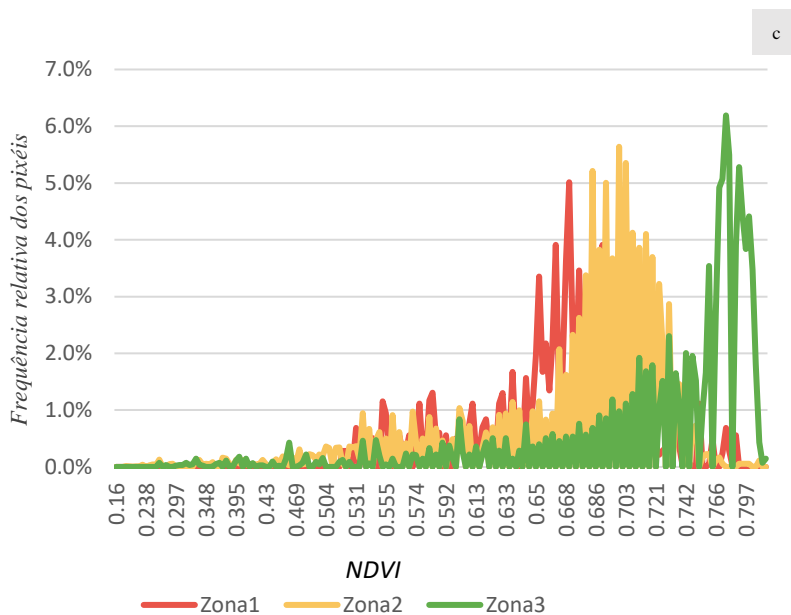


Figura 33. Histograma de frequência de pixels, de valores de NDVI na parcela 6, Olival Em sebe, na época da colheita (c).

4.2.2. Distribuição de probabilidade dos pixels

A análise dos histogramas das imagens das parcelas, acima estudados, permite uma visualização da distribuição dos valores dos pixels da parcela. Contudo, apresenta os dados com um nível mensurável de ruído, o que leva a dificuldades na interpretação dos gráficos. Os gráficos de frequência acumulada de pixels, Figura 34, ajudam a ultrapassar esse problema. Nesta parcela de olival em sebe existe uma frequência acumulada de pixels distinta em cada zona, constante ao longo das diferentes épocas. A maior clareza de leitura tem-se na época de stress, onde 75% dos valores de NDVI se localizam acima de 0.60 na zona mais vigorosa, contrastando com as duas zonas que se identificaram como sendo menos vigorosas.

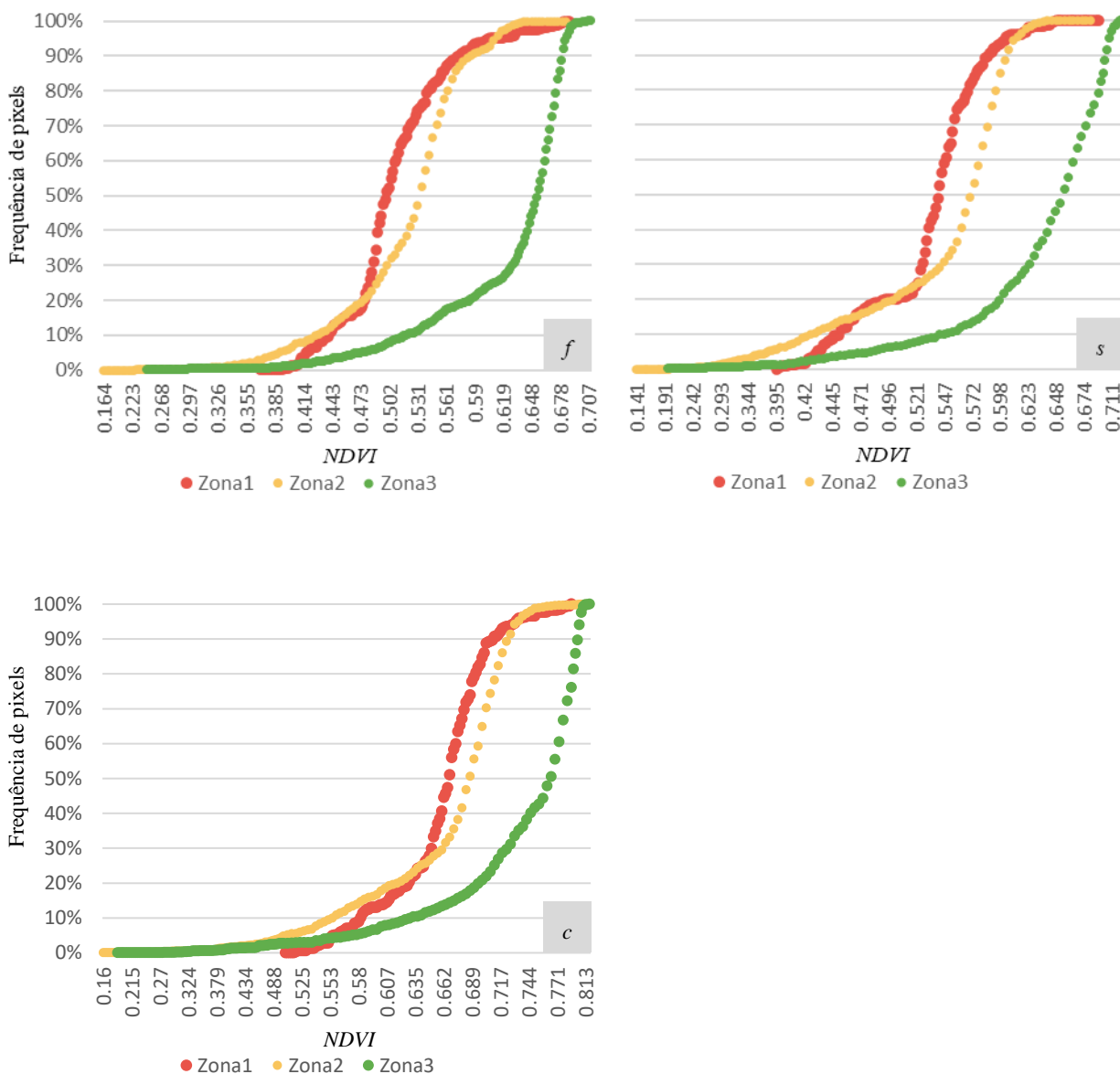


Figura 34. Diagramas de probabilidade acumulada (ou frequência acumulada) dos píxeis de NDVI da parcela 6, olival em sebe no ano de referência (2020) para a época da floração (f), stress (s) e colheita (c).

4.2.3. Consistência condicional de zonas

O sucesso na divisão da parcela em subzonas com diferenças significativas entre si requer uma análise cuidadosa, tal como explicado anteriormente. A análise em “T” possibilita a avaliação da consistência dos dados não só de forma anual, mas também entre épocas num mesmo ano. Como referido em 3.2.4.3, na Figura 14 está presente a análise da consistência das subzonas, diferenciando não só as zonas de maior vigor

potencial e a zona intermédia, bem como a zona intermédia e a de menor vigor potencial, para cada parcela e época.

Pode-se facilmente notar, como resposta a este teste, que as zonas de valor inferiores a zero não têm uma diferença que compense a divisão. Na Figura 35, a parcela 1 tem valores do teste inferiores a zero entre as zonas 2 e 3 (na colheita e floração, ao longo do ano referêncial), o que permite deduzir que não terão grande heterogeneidade entre elas. No entanto, é de salientar que na fase de stress parecem apresentar uma diferença, ainda que bastante pequena. Contudo, entre as zonas 1 e 2 já existe uma dissimelhança apontada pela diferença de NDVI mensurável (0.17, 0.10, 0.11 na colheita, floração e stress, respetivamente).

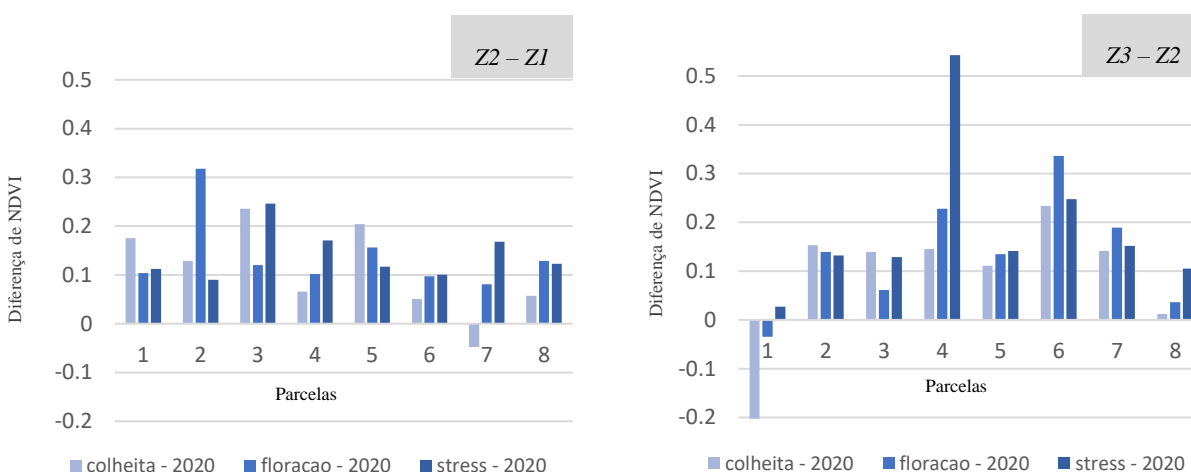


Figura 35. Análise da consistência das zonas, (Z2-Z1) e (Z3-Z2) das parcelas de Olival, no ano de 2020 para as diferentes épocas em análise (colheita, floração e stress)

Na parcela 7, olival intensivo, para a época da colheita do ano referêncial (2020), as zonas 1 e 2 não passaram no teste de consistência, o que parece confirmar que não existe uma clara heterogeneidade entre estas mesmas zonas da parcela, apesar de nas duas outras épocas serem bastante diferentes.

A época que parece ter mais importância na distinção das diferentes zonas é a do stress, compreendida entre junho e setembro, dado que não só é nela que existe uma menor interferência da vegetação rasteira, como também, é verificado que a diminuição da disponibilidade de água no solo provoca uma maior distinção entre zonas de potenciais produtivos diferentes.

Para além da diferenciação binária de zonas em heterogêneas ou não heterogêneas, o teste de consistência tem a capacidade de quantificar o nível de heterogeneidade das zonas. Ou seja, quanto maior for a diferença entre a zona de maior vigor potencial, maior será a fiabilidade da divisão das zonas heterogêneas.

O estudo da consistência das zonas ao longo de diferentes épocas num ano tem bastante interesse para identificar o comportamento das plantas durante o seu ciclo vegetativo, compreendendo quer as diferentes atividades biológicas da oliveira, quer os fatores externos à cultura, tais como o solo, as diferenças meteorológicas, e a evolução do coberto vegetal (e.g. podas, fenómeno de safra e contrassafra). Todavia, a análise apenas de um ano resultaria numa visão muito estreita da realidade e da variabilidade entre os diferentes anos.

Na Figura 36, está presente a diferença do NDVI entre as zonas 1 e 2, bem como entre as zonas 2 e 3, tal como foi apresentada acima. Porém, considera apenas a época de stress contida entre os anos 2017 a 2020. Na parcela 1 torna-se igualmente evidente a instável divisão entre as zonas 2 e 3 ao longo dos diferentes anos, o que reforça a hipótese levantada anteriormente.

As zonas 1 e 2 da parcela 6 não parecem demonstrar uma clara distinção entre elas, apesar da diferença evidenciada em 2020 ao longo das três épocas, quando analisados os diferentes anos. A parcela 7 tem uma fraca segurança na distinção entre a zona 1 e 2, já que não é consistente ao longo de todos os anos.

Observando os resultados podemos concluir que a análise anual é bastante pertinente na garantia de consistência na divisão das parcelas, dado que, podem existir fenómenos que diferenciam duas zonas exclusivamente num determinado ano. Como se observa comparando as zonas 1 e 2, na parcela 6 e 7, apenas o ano 2020 apresenta uma diferença considerável entre estas duas zonas da parcela, nos restantes anos não se pode afirmar com certeza que são diferentes.

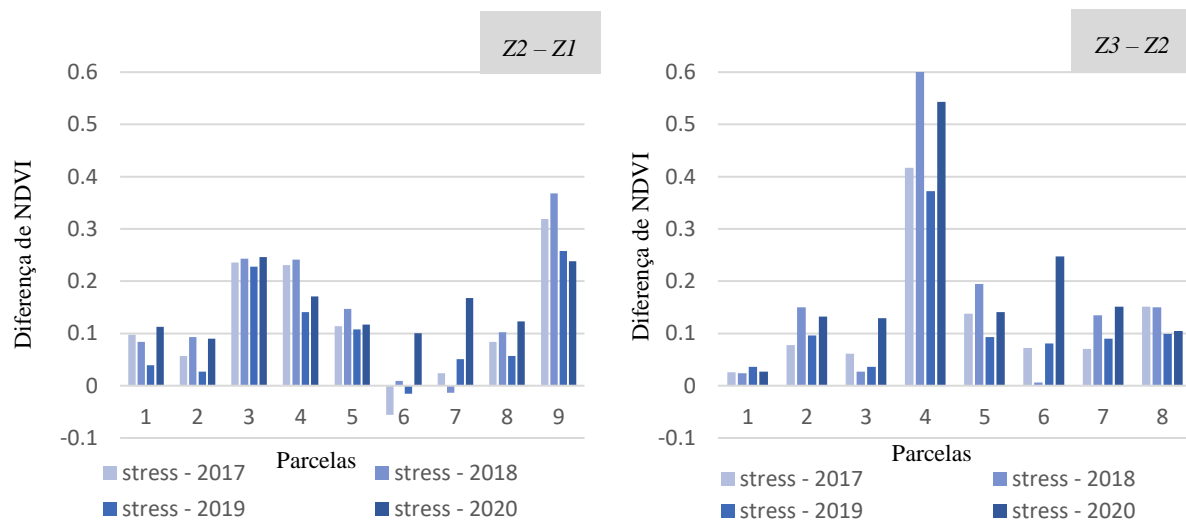


Figura 36. Análise da consistência das zonas, (Z2-Z1) e (Z3-Z2) das parcelas de Olival, na época de stress para os anos em análise (2017, 2018, 2019, 2020)

4.1. Ajustamento da Evapotranspiração cultural às diferentes zonas das parcelas

4.1.1. Adaptação da metodologia de cálculo do coeficiente de redução (kr)

Com vista à estimativa da ET_c do olival começou-se por estimar o fator de redução da ET_c desenvolvida por Pastor (1994). Esse fator depende da fc , que, nos sistemas de olival ibérico, pode tomar o valor máximo de 0.6 para a maioria dos olivais. O kr , por sua vez, toma valores de 0 a 1, sendo que o seu valor máximo corresponde a um olival de pleno potencial, dado que neste caso não existe redução da ET_c .

(18)

$$ET_c = kc \times kr \times ET_o$$

Utilizando a abordagem do cálculo do ET_c com base no kr referida em Pastor (1994) e na Figura 37 é possível definir a seguinte função de kr com base na fc determinada através dos IV's

(19)

$$Kr = -1.1685 \times Fc^2 + 2.1962 \times Fc + 0.0886$$

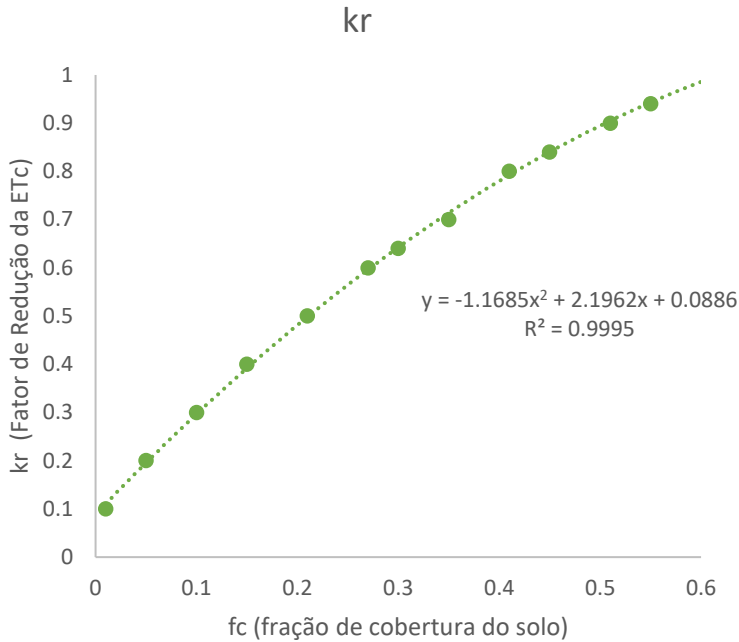


Figura 37. Fator de redução da Etc em função da fração de cobertura do solo (fc). Adaptado de Pastor (1994).

4.1.2. Estimativa da fração de cobertura com base nos IV's

A fc foi estimada com recurso a imagens aéreas, estando os valores recolhidos para cada subzona de cada parcela presentes no Quadro 7. Neste mesmo quadro apresentam-se também os respetivos valores de índices NDVI, EVI e SAVI. Como foi explicado na secção 3.2.5, os valores destes IV's foram calculados para o momento exato da fotografia aérea de alta resolução disponível. Apesar do trabalho ter a finalidade de estimar as necessidades de rega, foram consideradas igualmente as parcelas de sequeiro para ter uma maior cobertura de valores de fc que permitam posteriormente a aplicação desta metodologia a olivais com diferentes fc, por exemplo, olivais jovens que acabam por apresentar uma reduzida fc.

Quadro 7. Índices de vegetação e fração de cobertura das parcelas analisadas por fotografia aérea.

Parcela	Zona	NDVI	EVI	SAVI	fc
Parcela 1	Zona 1	0.22	0.14	0.15	0.05
	Zona 2	0.25	0.16	0.17	0.11
	Zona 3	0.26	0.16	0.17	0.14
Parcela 2	Zona 1	0.21	0.16	0.17	0.14
	Zona 2	0.23	0.16	0.17	0.13
	Zona 3	0.25	0.17	0.18	0.16
Parcela 3	Zona 1	0.35	0.22	0.24	0.42
	Zona 2	0.42	0.27	0.27	0.49
	Zona 3	0.44	0.28	0.29	0.53
Parcela 4	Zona 1	0.32	0.19	0.21	0.16
	Zona 2	0.40	0.22	0.24	0.23
	Zona 3	0.54	0.27	0.28	0.26
Parcela 5	Zona 1	0.24	0.17	0.17	0.15
	Zona 2	0.28	0.20	0.20	0.16
	Zona 3	0.33	0.23	0.23	0.26
Parcela 6	Zona 1	0.52	0.32	0.33	0.53
	Zona 2	0.51	0.31	0.32	0.55
	Zona 3	0.52	0.32	0.33	0.56
Parcela 8	Zona 1	0.27	0.17	0.18	0.14
	Zona 2	0.29	0.19	0.19	0.17
	Zona 3	0.32	0.21	0.22	0.28
Parcela 9	Zona 1	0.36	0.14	0.15	0.22
	Zona 2	0.20	0.22	0.23	0.27

A melhor correlação obtida ($R^2 = 0.8919$) foi com os valores de EVI, seguindo-se o SAVI ($R^2 = 0.8827$) e o NDVI ($R^2 = 0.7889$), como podemos observar na Figura 38. Portanto, pela equação (19), poderemos estimar o kr através da fc obtida com recurso ao EVI (20) e ajustar a ETC, através do kr pela equação (18).

(20)

$$fc = 2.7374 \times EVI - 0.3108$$

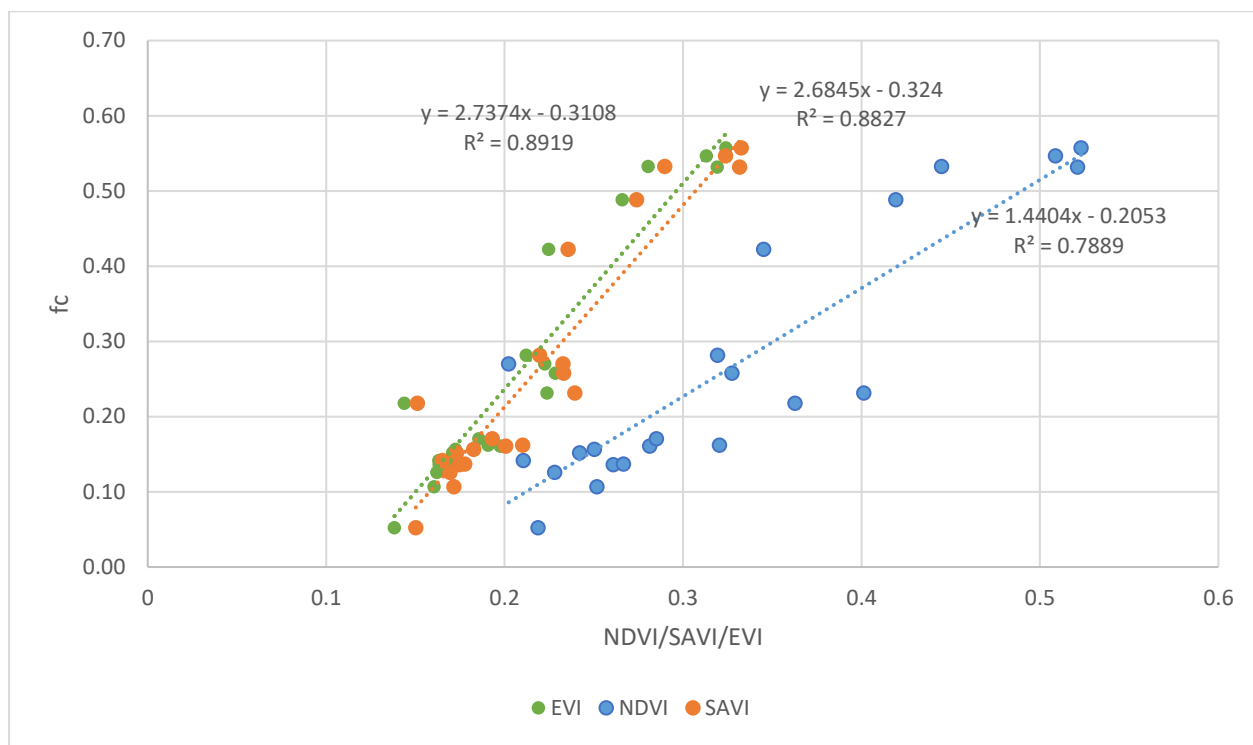


Figura 38. Correlação entre NDVI, SAVI e EVI e a f_c de cada subparcela.

4.2. Cálculo das necessidades de rega diferenciadas

As necessidades de rega produzidas pelo software ISAREG foram calculadas tendo em conta os solos de cada subzona e as características da cultura, representadas pelo K_c , ajustado às condições de cada subzona. Para o cálculo dos valores de ET_c para cada subzona, a determinação do k_r tem extrema importância e, segundo a abordagem adotada, relaciona-se diretamente com a f_c , que é variável nos diferentes anos, parcelas e zonas, como apresentado no Quadro 7. Tal como explicado na secção 3.2.5, a fração de cobertura foi calculada anualmente através do EVI determinado para o período de stress (junho a setembro).

A f_c possui valores mais elevados na parcela 6 (Quadro 7), o que está de acordo com a realidade observada no campo, dado ser esta a parcela com um maior vigor vegetativo, compasso mais denso, e árvores bastante desenvolvidas, chegando ao valor de estimado de 0.68. Ao longo dos quatro anos de análise, apenas o ano de 2017 teve a fração de cobertura menor que 0.6. Este valor é relevante dado que, como defende Pastor

(1994), o maior valor de K_c é obtido quando a fração de cobertura atinge o valor de máximo potencial teórico da cultura, 0.60. Neste caso, os valores das necessidades de rega serão semelhantes, diferindo apenas em função das características hidráulicas dos solos de cada subzona da parcela.

A parcela 7 tem valores de f_c extremamente reduzidos, na ordem dos 0.04, para as três zonas no ano de 2017. Esse valor deve-se ao facto de o Olival ser bastante jovem, provavelmente nesse ano ainda seria muito pequeno, pelo que o EVI assumiu valores diminutos, influenciando a f_c . A evolução do EVI em todas as zonas da parcela é notável ao longo dos anos, atingindo em 2020 valores bastante aceitáveis para um olival em sebe.

Quadro 8. Fração de cobertura (f_c) em cada uma das três zonas de cada parcela de regadio nos anos 2017 a 2020.

fc	Z1				Z2				Z3			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
P6	0.56	0.61	0.62	0.64	0.55	0.64	0.61	0.68	0.58	0.67	0.66	0.82
P7	0.03	0.08	0.10	0.38	0.04	0.12	0.12	0.44	0.05	0.14	0.19	0.52
P8	0.15	0.16	0.14	0.22	0.20	0.25	0.18	0.29	0.27	0.32	0.24	0.34

Parcela 6

A Parcela 6, tal como notado anteriormente, possui um vigor notável, revelado pelos índices de vegetação e, por conseguinte, na fração de cobertura. Na Figura 39 são apresentadas as suas necessidades de rega por mês e por ano. A semelhança entre zonas traduz-se no facto de o K_c praticamente não variar entre elas, à exceção do que aconteceu no ano de 2017, como apresentado anteriormente (Quadro 8). A diminuta discrepância entre subzonas pode ter origem nos diferentes tipos de solos.

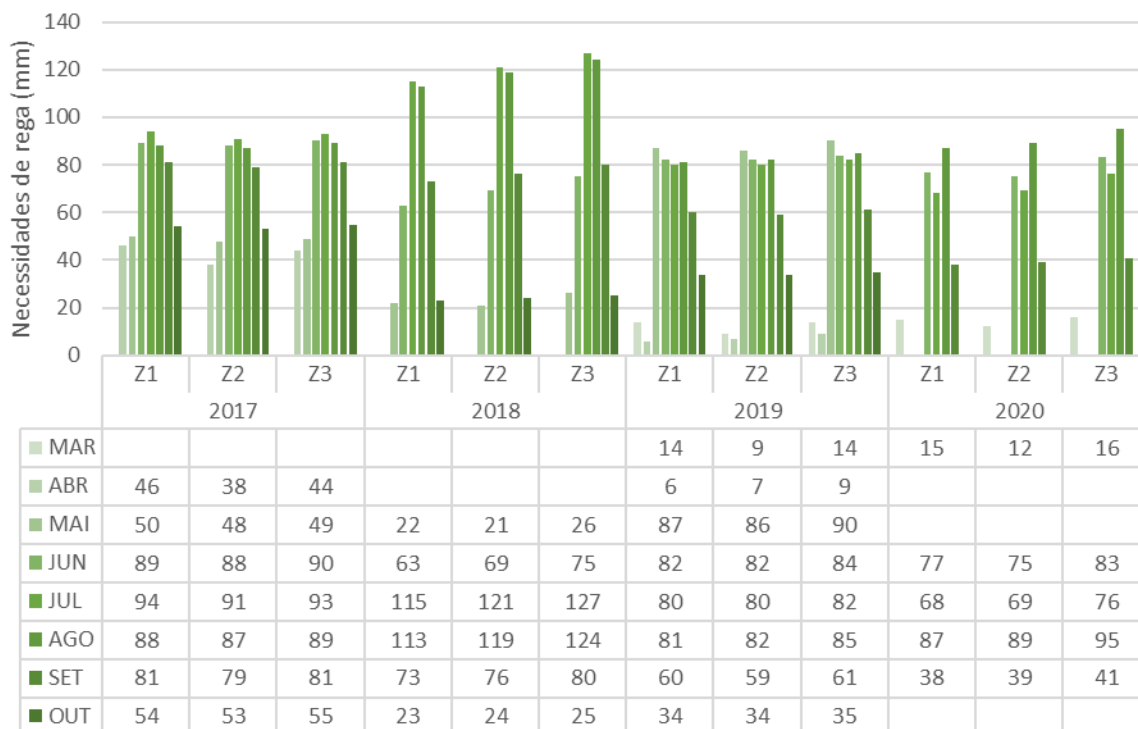


Figura 39. Necessidades de rega (mm) da Parcela 6, Olival Em sebe, nos anos de 2017 a 2020, nas três zonas da Parcela 6.

O facto da *fc* ser bastante elevada na parcela 6, chegando mesmo a atingir o valor de 0.68, permite denotar o vigor vegetativo da parcela, tal como apresentado na Figura 40, onde é visível o elevado vigor do olival com uma copa de grande diâmetro e entrelinhas muito ensombradas. Esta forma de condução pode ter algumas desvantagens face à sua performance produtiva, qualidade da azeitona, e à quantidade e facilidade da extração do azeite (Ramos, 2013). Com efeito, a rega deve ser conduzida de forma prudente evitando a obtenção de um máximo potencial vegetativo, que desconsidere o custo de produção. De facto, a garantia da qualidade e do valor do produto é importante.



Figura 40. Fotografia de parte do Olival na parcela 6.

Parcela 7

A parcela 7, tal como referido anteriormente, é um olival muito jovem, tendo por isso valores diminutos de f_c . Como consequência, denota-se uma evolução crescente das necessidades de rega ao longo dos diferentes anos, visível também na Figura 41, onde é clara a diferença entre as necessidades de rega das diferentes zonas. No ano de 2020 a parcela teve as maiores necessidades de rega, situação esta que correspondeu também ao maior estado de desenvolvimento da cultura. A zona 3, de maior vigor segundo o valor dos IV's analisados, possui sempre maiores necessidades de rega. Avaliando as discrepâncias entre as necessidades de rega e a fração de cobertura, bem como os índices de vegetação, é possível constatar que existem diferenças consideráveis nos valores de ETC.

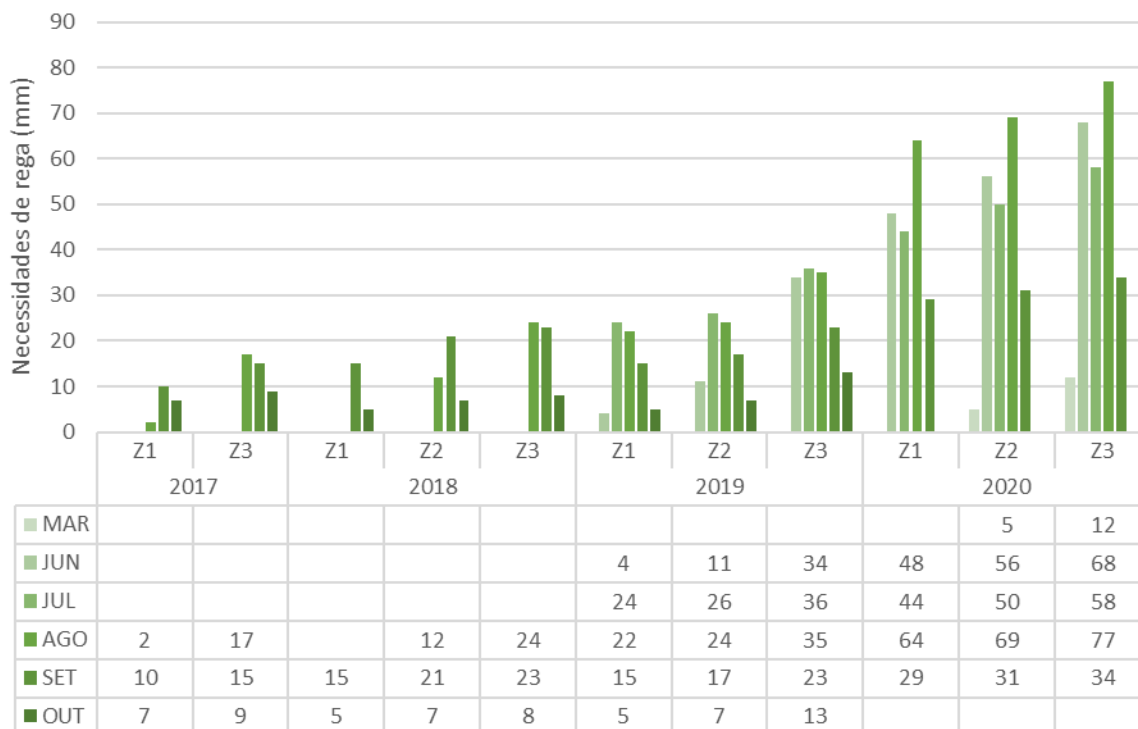


Figura 41. Necessidades de rega (mm) da Parcela 7, Olival Em sebe, nos anos de 2017 a 2020, nas três zonas da parcela.

Parcela 8

O olival da parcela 8 trata-se de um olival de menor densidade em relação aos restantes olivais regados da parcela 6 e 7. Por essa razão é de esperar também menores necessidades de rega ao longo dos anos em estudo. As necessidades de rega das três zonas da parcela são distintas e vão ao encontro do inicial zonamento das parcelas. Existem, no entanto, algumas exceções em que as zonas de maior f_c e, portanto, maior K_c e ET_c não correspondem às zonas de maiores necessidades hídricas. Esta facto é explicado pelas diferenças existentes nos solos.

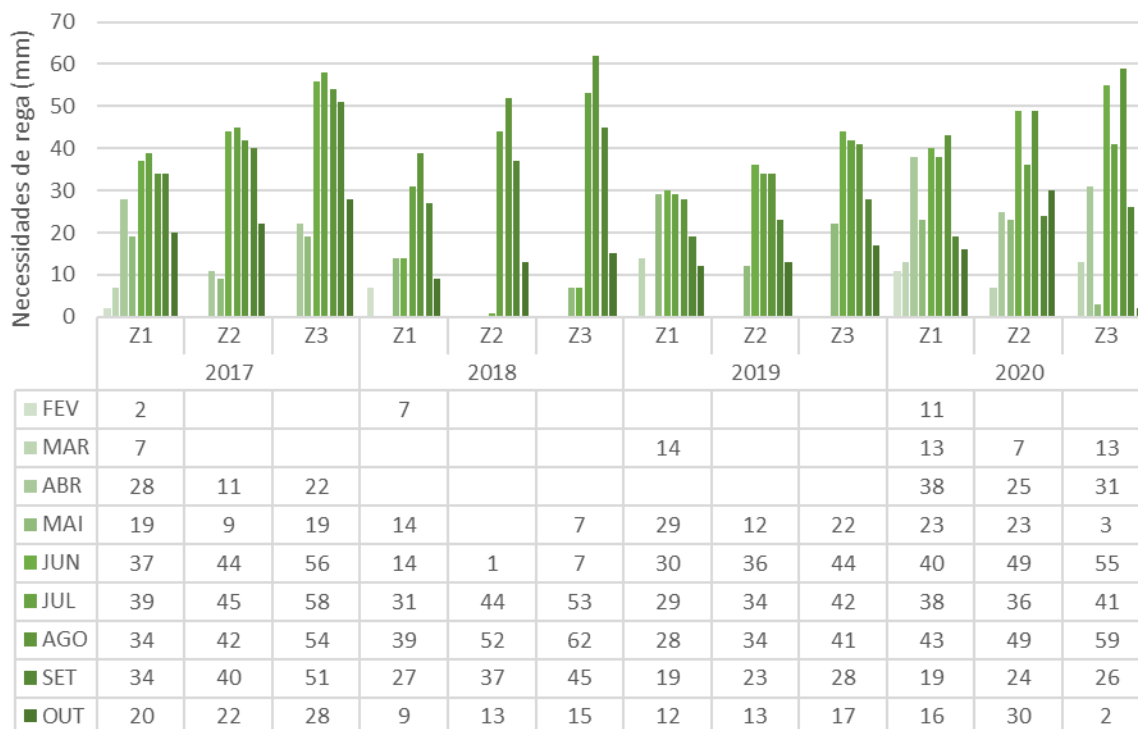


Figura 42. Necessidades de rega (mm) da Parcela 8, olival superintensivo, nos anos de 2017 a 2020, nas três zonas da parcela

No Quadro 9 estão presentes as necessidades de rega das três parcelas de regadio estudadas: a parcela 6, que, como observado anteriormente, possui em média as maiores necessidades de rega em todas as subzonas, precisamente devido ao vigor das plantas. Esses valores vão ao encontro dos relatórios do consumo de água para rega do olival da região em que é estimada a média dos consumos anuais desta cultura (EDIA, 2022). As necessidades de água nos Olivais da região variaram, em 2017, entre os 250 mm e 350 mm (EDIA, 2017) em 2018 entre os 250 mm e os 350 mm (EDIA, 2018) ; em 2019 entre os 250 mm e os 400 mm (EDIA, 2019); e em 2020 entre os 300 mm e os 500 mm(EDIA, 2020). Apesar de serem valores médios de uma diversidade grande de olivais (cerca de 66.327 ha de olival, em 2019), é possível comparar as suas necessidades de rega e perceber que se aproximam dos resultados obtidos neste trabalho.

Quadro 9. Necessidades de rega anuais (mm) das parcelas regadas em estudo desagregadas por zona e por ano.

Parcela	Zona	2017	2018	2019	2020	Média
P6	Z1	502	409	444	285	410
	Z2	484	430	439	284	409
	Z3	501	457	460	311	432
P7	Z1	19	20	70	185	74*
	Z2		40	85	211	112*
	Z3	41	55	141	249	122*
P8	Z1	220	141	161	241	191
	Z2	213	147	152	243	189
	Z3	288	189	194	230	225

* Média de necessidades de rega do olival na fase inicial de implantação do pomar

5. Conclusões

No trabalho realizado conseguiu-se desenvolver uma metodologia para a rega de precisão do olival em dois processos. Em primeiro lugar a divisão das parcelas em subzonas de características diferentes entre si e em segundo lugar, com base nessas diferenças, realizar o cálculo de necessidades de rega diferenciadas.

No zonamento das parcelas tornou-se evidente o grande potencial das séries temporais do Sentinel-2 que pela sua elevada resolução espacial aliada ao reduzido intervalo de revisitas de cada local permitiu uma informação mais robusta das áreas analisadas. Na primeira metodologia de pré-zonamento visual, o NDVI mostrou ser eficaz para a análise da diferença entre zonas na parcela. Nomeadamente pelo facto de não criar distinções muito pronunciadas que provocam excesso de zonamentos. Bem como, pela distinção de zonas dentro da parcela que revelaram ser consistentemente diferentes ao longo dos anos. De facto, o excesso de zonamentos e posterior condução diferenciada do olival exige esforço financeiro que apenas se justificará se existir um retorno económico deste processo.

A divisão das zonas apenas pela análise visual pode induzir por vezes em erro pela reduzida quantidade de imagens em análise e pela subjetividade de decisão. Assim, foi proposto neste trabalho o zonamento das parcelas com base em histogramas e em função da distribuição de probabilidades permitindo um maior rigor e a análise de uma substancial quantidade de informação ao longo de vários anos de dados.

O segundo processo teve em conta o cálculo das necessidades de rega do Olival. Nesta fase foi importante perceber que para o cálculo do Kc no Olival é necessário ter em conta as características fisiológicas desta cultura. Razão pela qual, se torna difícil a correlação direta entre os diferentes IV's e o Kc proposto por

vários autores anteriormente citados para outras culturas, como o Milho. O cálculo do K_r permitiu ir ao encontro da variabilidade espacial da cultura possibilitando ajustar o K_c (e conseqüentemente a ET_c) estudado por Pastor (1994) às condições dos olivais em estudo, podendo essa estimativa ser determinada com base na f_c segundo o mesmo autor.

Para o cálculo da fração de cobertura os IV's NDVI, SAVI e EVI mostraram ter uma boa correlação (>0.65). O EVI demonstrou ter a melhor correlação ($R^2=0.8919$) permitindo uma estimativa do f_c para o cálculo da ET_c para os anos em análise e as zonas de cada parcela divididas anteriormente. Esta abordagem permite uma melhor determinação das necessidades de rega de cada zona da parcela, tendo em conta as características da cultura.

Nas necessidades de rega estimadas para cada ano, parcela e zona de cada parcela, torna-se evidente uma clara influência do solo e das condições climáticas. Para além disso, também as divergências de K_c entre zonas suportam a tese inicial e permitem detetar diferenças nas necessidades de rega em cada zona, existindo diferenças mais claras nas parcelas de olival intensivo (até 18%) e menos evidentes na parcela 6 de Olival superintensivo (até 6%).

Uma das limitações apontadas aos resultados obtidos são relativos às características dos solos, dado que as cartas de solos existentes têm uma resolução grosseira (1:2500) e não permitem ter uma análise mais detalhada ao nível da parcela. Numa posterior validação desta metodologia seria interessante existir uma análise mais fina no campo das características dos solos em cada zona. A acrescentar o facto de a metodologia, principalmente o ISAREG, ser bastante sensível à incerteza que os dados dos solos causam nas necessidades de rega das culturas.

Futuramente, seria interessante a aplicação destas metodologias de estimativa da ET_c diferenciada no espaço às condições de campo, realizando ensaios no campo ao nível da medição da f_c , da estimativa do K_c do olival e do ciclo das cultivares mais utilizadas e ao nível do solo de cada parcela em análise. No trabalho de campo também seria relevante a avaliação de parcelas de olival com diferentes níveis de heterogeneidade espacial. A estimativa da economia de água aplicando a metodologia desenvolvida em comparação com a rega convencional do olival poderia também ser proveitosa, tal como os impactos na produção e qualidade da azeitona.

Por fim, a combinação da metodologia em estudo com informações de imagens multiespectrais com uma maior resolução espacial e temporal, com recurso, por exemplo, a *drones*, poderia incrementar a precisão do cálculo das necessidades de rega.

6. Referências bibliográficas

- Alcalá, A. R., & Barranco, D. (1992). Prediction of Flowering Time in Olive for the Cordoba Olive Collection. *HORTSCIENCE*, 27(11), 1205–1207.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: Food Agriculture Organization*. 56, 26-40.
- Aparício, P. (2022). *Distribuição espacial das necessidades de rega das culturas no Perímetro de Rega do Luçefecit com recurso a imagens de satélite com elevada resolução espaço-temporal*. Instituto Superior de Agronomia.
- Bacour, C., Baret, F., Béal, D., Weiss, M., & Pavageau, K. (2006). Neural network estimation of LAI, fAPAR, fCover and LAI×Cab, from top of canopy MERIS reflectance data: Principles and validation. *Remote Sensing of Environment*, 105(4), 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.014>
- Barroso, J. M., Peça, J. O., Dias, A., Pinheiro, A., & Santos, L. (2013). *O Grande Livro da Oliveira e do Azeite – Portugal Oleícola* (Dinalivro).
- Branquinho, S., Rolim, J., & Teixeira, J. L. (2021). Climate change adaptation measures in the irrigation of a super-intensive olive orchard in the south of portugal. *Agronomy*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy11081658>
- Calera, A., Martínez, C., & Meliá, J. (2001). A procedure for obtaining green plant cover: Relation to NDVI in a case study for barley. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3357–3362. <https://doi.org/10.1080/01431160010020100>
- Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An environmental approach* (Second Edition, Vol. 2). CRC Press . <https://doi.org/10.1177/2399808317711988>
- Coelho, J. P. C., & Marques da Silva, J. R. (2009). Agricultura de Precisão. In *Associação de Jovens Agricultores de Portugal*. www.fsantos.utad.pt/pub-fas/FormacaoAgricola.pdf
- Copernicus Open Access Hub*. (n.d.). Retrieved December 30, 2020, from <https://scihub.copernicus.eu/>
- Cuesta, A., Montoro, A., Jochum, A. M., López, P., & Calera, A. (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA*, 101(3), 212–224.
- D’Urso, G., & Belmonte, A. C. (2006). Operative Approaches To Determine Crop Water Requirements From Earth Observation Data: Methodologies And Applications. *AIP Conference Proceedings*, 852, 14. <https://doi.org/10.1063/1.2349323>

- D'Urso, G., Richter, K., Calera, A., Osann, M. A., Escadafal, R., Garatuza-Pajan, J., Hanich, L., Perdigão, A., Tapia, J. B., & Vuolo, F. (2010). Earth Observation products for operational irrigation management in the context of the PLEIADeS project. *Agricultural Water Management*, 98(2), 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.020>
- EDIA. (2017). *Anuário Agrícola de Alqueva 2017*. <https://www.edia.pt/pt/o-que-fazemos/apoio-ao-agricultor/anuario-agricola/>
- EDIA. (2018). *Anuário Agrícola de Alqueva 2018*. <https://www.edia.pt/pt/o-que-fazemos/apoio-ao-agricultor/anuario-agricola/>
- EDIA. (2019). *Anuário Agrícola de Alqueva 2019*. <https://www.edia.pt/pt/o-que-fazemos/apoio-ao-agricultor/anuario-agricola/>
- EDIA. (2020). *Anuário Agrícola de Alqueva 2020*. <https://www.edia.pt/pt/o-que-fazemos/apoio-ao-agricultor/anuario-agricola/>
- EDIA. (2022). *Anuário Agrícola de Alqueva 2021*. <https://www.edia.pt/pt/o-que-fazemos/apoio-ao-agricultor/anuario-agricola/>
- Falcão, J. M. (2019). *Utilização de imagens de satélite para a otimização produtiva do olival superintensivo (cv. Arbosana)*. Tese de mestrado em engenharia agronómica. Instituto Superior de Agronomia.
- Fernández, J. E., Perez-Martin, A., Torres-Ruiz, J. M., Cuevas, M. V., Rodriguez-Dominguez, C. M., Elsayed-Farag, S., Morales-Sillero, A., García, J. M., Hernandez-Santana, V., & Diaz-Espejo, A. (2013). A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant and Soil*, 372(1–2), 279–295. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1704-2>
- Gao, B. C. (1996). NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- González-Piqueras, J. (2007). *Evapotranspiración de la cubierta vegetal mediante la determinación del coeficiente de cultivo por teledetección. Extensión a escala regional: Acuífero 08.29 mancha oriental* [Tese Doctoral]. Universitat de Valencia.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Huete, A. R., HuiQing Liu, & van Leeuwen, W. J. D. (1997). The use of vegetation indices in forested regions: issues of linearity and saturation. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing*

- Symposium Proceedings. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development*, 4, 1966–1968. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1997.609169>
- INE. (2022). *Estatísticas Agrícolas : 2021*. <https://www.ine.pt/xurl/pub/31589846>
- IPMA. (2019). *Boletim meteorológico para a agricultura*. https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20190301/hAkaggPcRQLrI fHQfKUT/agr_20190101_20190131_bag_3d_co_pt.pdf
- Jiang, Z., Huete, A., Didan, K., & Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833–3845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Molin, J. P., Rios, L., André, A., & Colaço, F. (2015). *Agricultura de Precisão (Oficina de Textos)*. www.ofitexto.com.br
- Oliveira, M. M. (2003). *Cálculo da recarga dos sistemas aquíferos de Quarteira e de Albufeira-Ribeira de Quarteira recorrendo a uma atualização (do modelo de balanço hídrico sequencial diário) que utiliza o coeficiente cultural dual na estimativa da evapotranspiração real*. <https://www.researchgate.net/publication/319879387>
- Pastor, M. (1994a). Riego deficitario del olivar. *Agricultura*, 746, 738–744.
- Pastor, M. (1994b, August). Riego deficitario del olivar. *Agricultura: Revista Agropecuaria e Ganadera*, 746, 768–776.
- Penteado, M. (2014). *Utilização de imagens de alta resolução de Detecção Remota na gestão do montado de sobro*. Tese de mestrado em engenharia agrónomica. Instituto Superior de Agronomia.
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações Europa-América.
- Pôças, I., Paço, T., Paredes, P., Cunha, M., & Pereira, L. (2015). Estimation of Actual Crop Coefficients Using Remotely Sensed Vegetation Indices and Soil Water Balance Modelled Data. *Remote Sensing*, 7(3), 2373–2400. <https://doi.org/10.3390/rs70302373>
- Ramos, A. de F. P. F. (2013). *Influência da rega e do regime hídrico no comportamento da Cultivar Cordovil (Olea europaea L. cv. Cordovil) em povoamentos de baixa densidade no Baixo Alentejo*. Tese de Doutoramento em Ciências da Engenharia do Território e Ambiente. Especialidade:

Engenharia dos Biosistemas. UÉvora.

- Rodrigues, M. Â., & Correia, C. M. (2009). *MANUAL DA SAFRA E CONTRA SAFRA DO OLIVAL* (M. Â. Rodrigues & C. M. Correia, Eds.). Instituto Politécnico de Bragança.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA*, September 1972, 1–137. http://scholar.google.com/scholar?q=related:kfZY0xukQScJ:scholar.google.com/&hl=en&num=20&as_sdt=0,5%5Cnpapers2://publication/uuid/FB22B85B-B2F9-442E-AF63-58F3517012FC
- Smith, R. J., & Baillie, J. N. (2009, October 18). Defining precision irrigation: A new approach to irrigation management. *Australian Irrigation and Drainage Conference*.
- Sousa, E. C., Madeira, M., & Monteiro, F. G. (2014). *A Base de Referência para os Solos do Mundo e a Classificação dos Solos de Portugal*. <https://www.researchgate.net/publication/260159319>
- Sousa, P. L., & Morais, A. (2011). Mear - Methodology to Estimate the Irrigation Water Consumption in Portugal. In I. P. INE (Ed.), *O uso da água na agricultura* (p. 26).
- Spyropoulos, N. v, Dalezios, N. R., Kaltsis, I., & Faraslis, I. N. (2020). Very high resolution satellite-based monitoring of crop (olive trees) evapotranspiration in precision agriculture. *Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 6(1), 22–41.
- SUHET. (2015). *SENTINEL-2 User Handbook and Exploitation Tools (SUHET)*.
- Teixeira, J. (2021). *Manual Programa ISAREG*. Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. <http://home.isa.utl.pt/~jlteixeira/index.htm>
- Teixeira, J. L., & Pereira, L. S. (1992). ISAREG, an irrigation scheduling model. *ICID Bulletin*, 41(2), 29–48.
- Toureiro, C., Serralheiro, R., Shahidian, S., & Sousa, A. (2017). Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition. *Agricultural Water Management*, 184, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.010>
- Tristany, M. N. (2010). *Um sistema de informação para a análise multi-dimensional da actividade agrícola. Aplicação em diversos casos do panorama agrícola nacional*. Tese de doutoramento em engenharia agrónoma. Instituto superior de Agronomia.
- Trout, T. J., & Johnson, L. F. (2007). ESTIMATING CROP WATER USE FROM REMOTELY SENSED NDVI, CROP MODELS, AND REFERENCE ET. *Conference on Irrigation and Drainage The Role*

of Irrigation and Drainage in a Sustainable Future, 275–285.

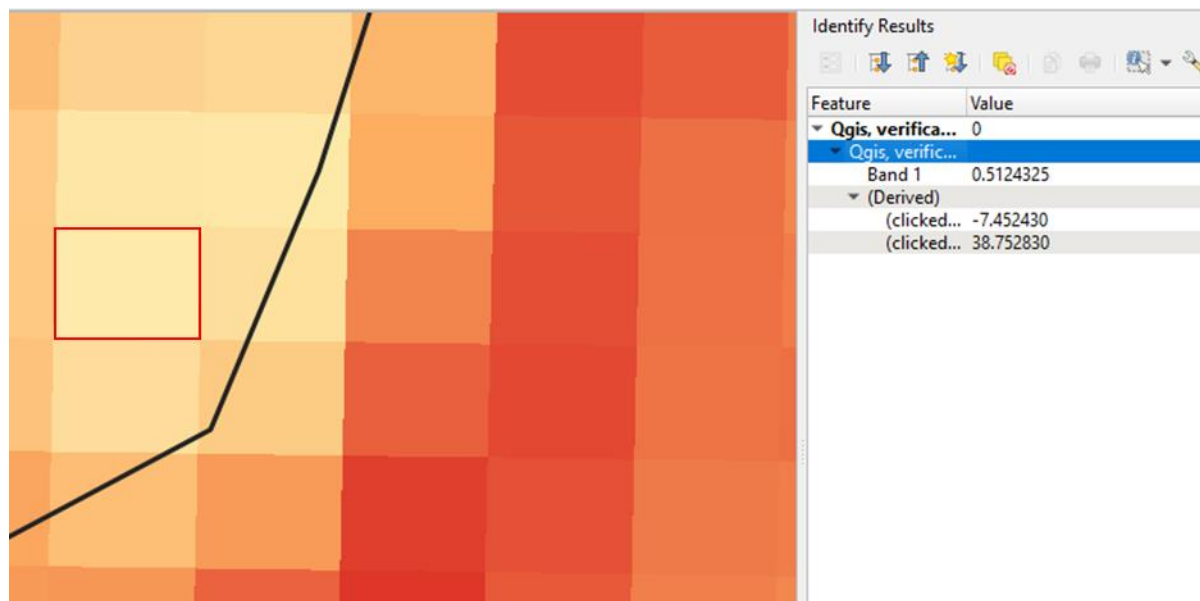
Villalobos, P., Manriquez, R., Acevedo, C., & Ortega, S. (2009). *Alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas*. Yilmaz, M. T., Hunt, E. R., & Jackson, T. J. (2008). Remote sensing of vegetation water content from equivalent water thickness using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2514–2522. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.11.014>

Anexos

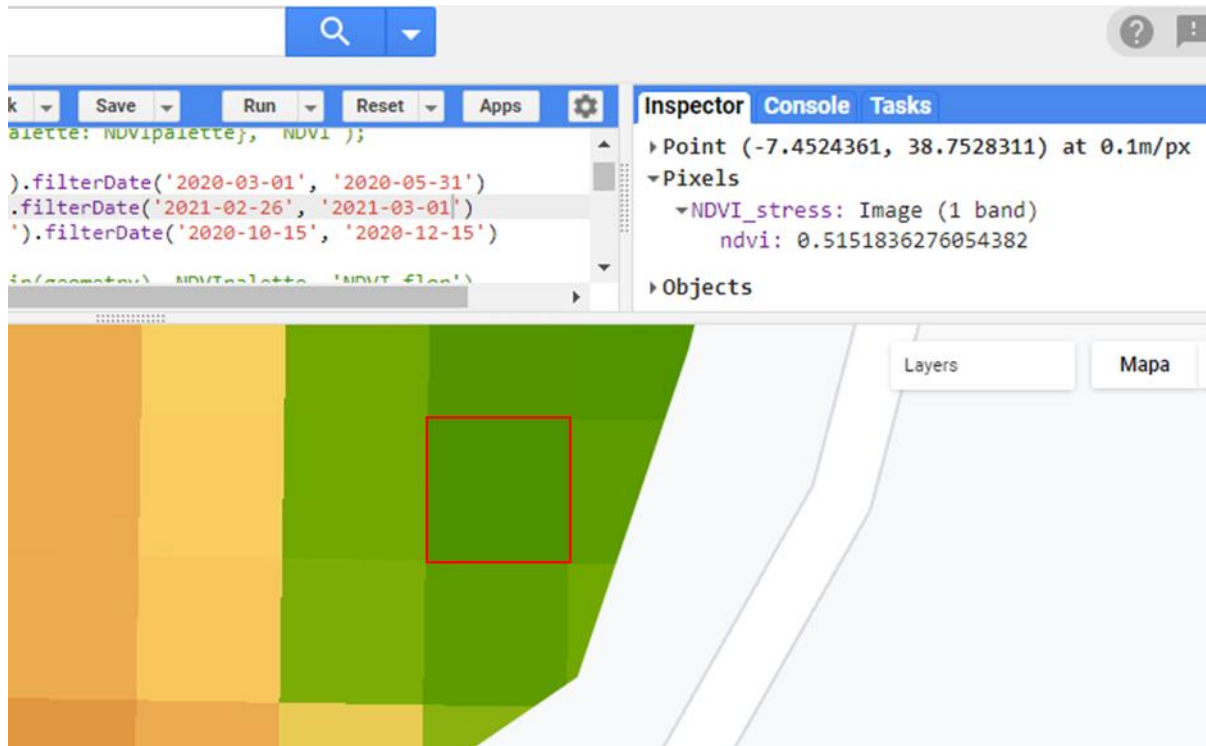
ANEXO I Necessidades de rega simulados para as três parcelas de olival regado com recurso ao modelo ISAREG para os anos 2017, 2018, 2019 e 2020.

	Meses	P6			P7			P8		
		Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3
2017	FEV							2		
	MAR							7		
	ABR	46	38	44				28	11	22
	MAI	50	48	49				19	9	19
	JUN	89	88	90				37	44	56
	JUL	94	91	93				39	45	58
	AGO	88	87	89	2		17	34	42	54
	SET	81	79	81	10		15	34	40	51
	OUT	54	53	55	7		9	20	22	28
2018	FEV							7		
	MAI	22	21	26				14		7
	JUN	63	69	75				14	1	7
	JUL	115	121	127				31	44	53
	AGO	113	119	124		12	24	39	52	62
	SET	73	76	80	15	21	23	27	37	45
	OUT	23	24	25	5	7	8	9	13	15
2019	MAR	14	9	14				14		
	ABR	6	7	9						
	MAI	87	86	90				29	12	22
	JUN	82	82	84	4	11	34	30	36	44
	JUL	80	80	82	24	26	36	29	34	42
	AGO	81	82	85	22	24	35	28	34	41
	SET	60	59	61	15	17	23	19	23	28
	OUT	34	34	35	5	7	13	12	13	17
2020	FEV							11		
	MAR	15	12	16		5	12	13	7	13
	ABR							38	25	31
	MAI							23	23	3
	JUN	77	75	83	48	56	68	40	49	55
	JUL	68	69	76	44	50	58	38	36	41
	AGO	87	89	95	64	69	77	43	49	59
	SET	38	39	41	29	31	34	19	24	26
	OUT							16	30	2

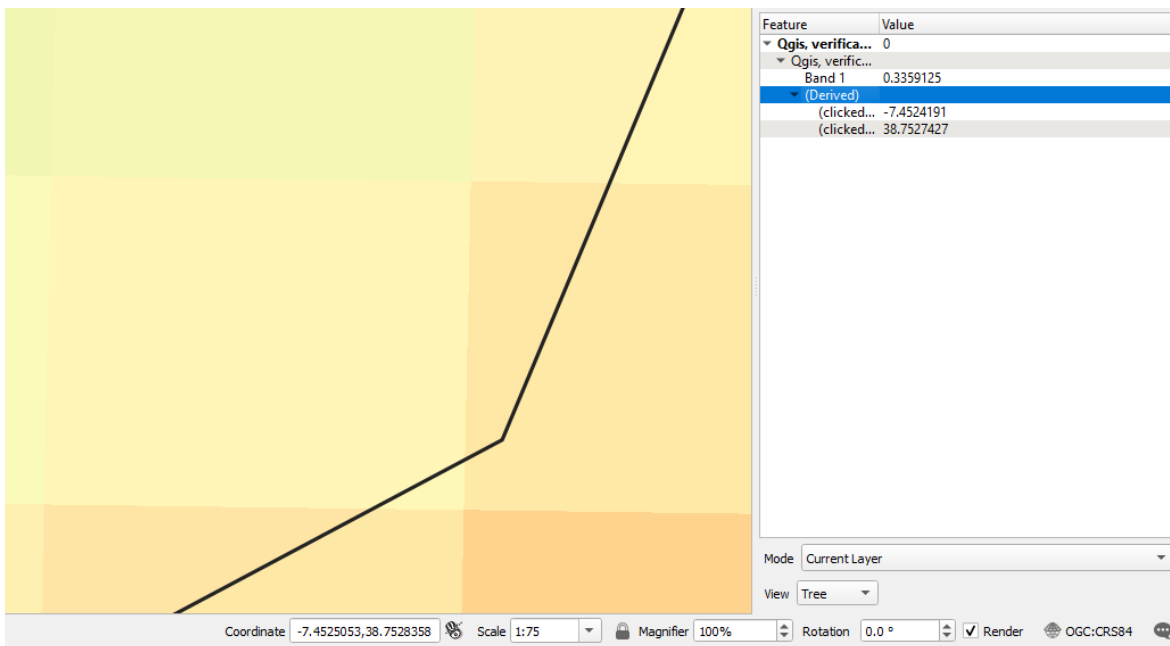
ANEXO 2. Validação da plataforma GEE com recurso ao QGIS. Cálculo do índice NDVI no QGIS e importação dos dados de origem na fonte Copernicus.



ANEXO 3. Estudo de um píxel da parcela 6 e do índice NDVI calculado para validação dos dados do GEE.



ANEXO 4. Validação da plataforma GEE com recurso ao QGIS. Cálculo do índice EVI no QGIS e importação dos dados de origem na fonte Copernicus.



ANEXO 5. Estudo de um píxel da parcela 6 e do índice EVI calculado para validação dos dados do GEE.

