



Utilização de Imagens de Detecção Remota para Monitorização das Culturas e Estimação das Necessidades de Rega

Pedro VILAR^{1*}, Ana NAVARRO² e João ROLIM³

¹ Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

² Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

³ Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

(pedro_vilar18@hotmail.com; acferreira@fc.ul.pt; joaorolim@isa.ulisboa.pt)

Palavras-chave: Detecção Remota, Gestão da Água, Rega, Fenologia, Classificação de Imagem

Resumo: A estimação das necessidades de rega das culturas depende de uma correta caracterização dos parâmetros biofísicos das culturas, sendo que se podem utilizar imagens de Detecção Remota (DR) para a obtenção desta informação. Assim, através de uma série temporal de imagens é possível obter um conjunto de informações sobre as várias culturas existentes numa dada região agrícola. O presente trabalho tem como principal objetivo a utilização de imagens de satélite *Landsat* e de um modelo de balanço hídrico do solo para a monitorização e estudo das necessidades de rega das culturas de regadio. Neste estudo foram utilizadas imagens adquiridas pelo sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* do satélite *Landsat 7* e pelos sensores *Operational Land Imager (OLI) / Thermal Infrared Sensor (TIRS)* do satélite *Landsat 8*, que cobrem a região da lezíria de Vila Franca de Xira, em várias datas compreendidas entre os meses de abril e outubro de 2013. Para cada uma das imagens, determinaram-se os valores de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (*NDVI – Normalized Difference Vegetation Index*) que foram utilizados para estimar os valores do coeficiente cultural basal (*Kcb*) e as datas e a duração dos estádios fenológicos das culturas. Com base nos dados das culturas, do solo e dos dados meteorológicos da estação meteorológica da barragem de Magos, situada no concelho de Salvaterra de Magos no distrito de Santarém, relativos ao ano de 2013, determinou-se o balanço hídrico das culturas com o modelo *IrrigRotation*, de modo a estimar as necessidades de rega das culturas. Complementarmente, procedeu-se à identificação e classificação de alguns tipos de culturas existentes na zona em estudo, comparando os métodos de classificação de Máxima Verosimilhança e Máquinas de Suporte Vetorial (*SVM – Support Vector Machine*), procedendo-se, posteriormente, a uma classificação multitemporal com o método que devolveu os melhores resultados. Os valores obtidos para o *Kcb* mostraram-se fiáveis para o cálculo das necessidades de rega das culturas e da duração dos estados fenológicos das culturas. Na classificação de culturas, o método que apresentou melhores resultados foi o *SVM* com uma exatidão global de 87%. A classificação multitemporal, com recurso a este método, permitiu um melhoramento dos resultados, tendo-se verificado um aumento da exatidão global da classificação de 6%.



1. Introdução

A água é considerada um dos recursos de maior importância no setor agrícola. É afirmada a necessidade de melhoria na gestão e nas práticas de rega de culturas, bem como a definição de estratégias de poupança de água para aumentar a eficiência da rega, incluindo a redução de impactos ambientais. No entanto, a gestão da água na agricultura de regadio tem-se revelado uma tarefa difícil, dado que exige o tratamento de múltiplas variáveis económicas, agronómicas e ambientais. O correto planeamento e a gestão adequada da rega dependem da disponibilidade de ferramentas precisas para tal (Rolim e Teixeira, 2008). A estimacão de necessidades hídricas tem sido determinada com recurso a alguns modelos de balanço hídrico do solo (Rolim e Teixeira, 2008) utilizando variáveis que na sua maioria são extraídas a partir de valores tabelados (D'Urso e Belmonte, 2006). As imagens de DR possibilitam a obtenção de vários parâmetros biofísicos que descrevem a cobertura vegetal necessários à estimacão da quantidade de água despendida em regadio na agricultura (D'Urso e Belmonte, 2006). Um dos parâmetros que descreve a cobertura vegetal é o coeficiente cultural basal (K_{cb}), necessário na quantificacão das necessidades hídricas de rega. Alguns estudos, nesta temática, surgiram no âmbito do projeto *Demonstration of Earth Observation Technologies in Routine Irrigation advisory services (DEMETER)*, focando-se na obtenção de coeficientes culturais a partir de dados de DR. Estes estudos mostraram que os coeficientes culturais calculados com base em informacão extraída de imagens são vantajosos na estimacão de necessidades de água em regadio (Perdigão *et al.*, 2006; D'Urso e Belmonte, 2006). As aplicacões da DR na agricultura não se limitam à gestão da água de rega das culturas. Esta pode ser utilizada para estimar a produçao das culturas, assim como avaliar as propriedades físicas dos solos, cartografar parcelas e monitorizar outras atividades agrícolas (Fonseca e Fernandes, 2004). O presente estudo tem como objetivos estimar coeficientes culturais basais com base em informacão extraída de imagens de DR de modo a determinar o comportamento fenológico das culturas e os parâmetros necessários ao cálculo das necessidades hídricas de regadio. Complementarmente, com recurso a alguns métodos de classificacão de imagem, foram classificados vários tipos de culturas.

2. Material e Metodologia

2.1 Caracterizacão da zona de estudo

O município de Vila Franca de Xira, localizado no distrito de Lisboa (Figura 1), encontra-se delimitado pelos paralelos $38^{\circ}48'50''$ N e $39^{\circ}01'43''$ N e pelos meridianos $9^{\circ}06'04''$ W e $8^{\circ}49'09''$ W. Nos solos da lezíria de Vila Franca de Xira a exploracão agrícola é intensiva, existindo dois ciclos de cultura durante o ano agrícola. A maioria das culturas nesta zona é temporária, destacando-se as culturas anuais de regadio, como o trigo, o milho, arroz, o girassol e o tomate, salientando também as de beterraba sacarina, forrageiras e pastagens (Plural, 2004). O estudo foi desenvolvido maioritariamente na zona de Lezíria e de mouchões, onde se encontra a maior parte das culturas analisadas de abril a outubro de 2013.

2.2 Dados Utilizados e Pré-Processamento

2.2.1 – Imagens de satélite Landsat-7 e Landsat-8

Neste estudo foram utilizadas imagens do sensor *ETM+* do satélite *Landsat-7* e dos sensores *OLI* e *TIRS* do satélite *Landsat-8* com datas de aquisicão que abrangem o período temporal de abril a outubro de 2013, que corresponde à época de cultura de primavera-verão. Este conjunto de imagens é, essencialmente, constituído por imagens do satélite *Landsat-8 OLI* e *TIRS*, no entanto, foi necessário recorrer à utilizacão de duas imagens do satélite *Landsat-7 ETM+* (maio e junho) devido à densa cobertura nebulosa que as imagens obtidas pelos sensores de *Landsat-8* apresentavam para as datas correspondentes. O seu uso destinou-se à extraçao de informacão que permitisse caracterizar o estado da vegetacão nas respetivas datas de aquisicão, estimar valores de temperatura do solo e classificar os diferentes tipos de culturas. Para os meses de abril, maio, junho e outubro foi apenas possível utilizar uma imagem, enquanto para os restantes meses foram utilizadas as duas imagens disponibilizadas por mês. Das imagens foram utilizadas as bandas vermelha, verde, azul, infravermelho próximo, térmico e de comprimento de onda curto. A cada uma das imagens foi aplicada uma calibracão radiométrica através da determinacão dos valores de radiância e refletância espectral ao nível do topo da atmosfera para as imagens de *Landsat 7 ETM+*, segundo os parâmetros e algoritmos indicados por Chander *et al.*, (2009) e para as imagens de *Landsat 8 OLI* e *TIRS* os indicados por Mishra *et al.* (2014). Complementarmente, foi ainda realizada uma normalizacão radiométrica através da obtençao de coeficientes de regressão linear das duas imagens *Landsat-7 ETM+* utilizadas



para completar a série temporal, relativamente às imagens Landsat-8 *OLI* e *TIRS* de datas correspondentes (recorrendo a zonas sem nuvens constituídas por elementos invariantes), de acordo com Ke *et al.* (2015). No Quadro 1 apresentam-se os valores de *Cloud Cover* por imagem.

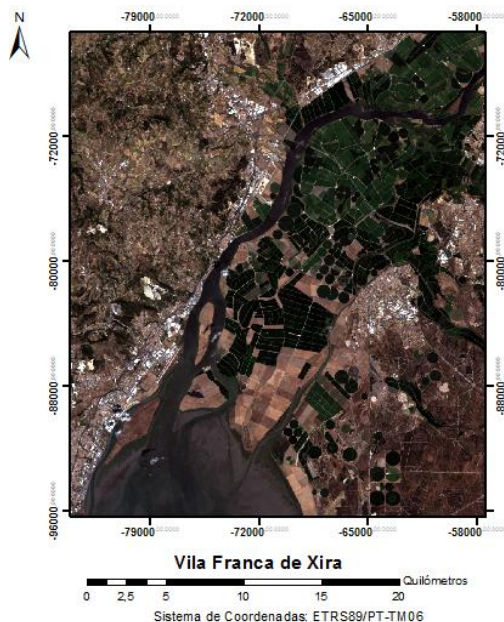


Figura 1 – Área de Estudo

2.2.2 – Parcelário agrícola de Vila Franca de Xira, Carta de solos de Portugal e Informação climática da estação meteorológica de Barragem de Magos

O parcelário agrícola de Vila Franca de Xira respeitante à campanha de cultura no ano de 2013, do sistema de identificação de parcelas, foi disponibilizado pelo IFAP, I.P. (Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas). Esta informação foi utilizada para estudar o comportamento fenológico das culturas e como dados de treino e de validação para classificação das imagens de satélite. Da informação constante no parcelário, selecionaram-se as parcelas das culturas de arroz, tomate, milho, milho para silagem e melão. A Carta de Solos de Portugal, elaborada pelo Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente, está representada à escala 1:25000 e foi utilizada para a obtenção do tipo de solo presente em cada parcela e das respetivas características hidráulicas para se realizar o balanço hídrico do solo. Foram selecionadas as folhas 390, 391 e 404 da carta, correspondentes à zona de estudo. A informação climática foi recolhida do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (<http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>) e é relativa aos dados meteorológicos da estação meteorológica da Barragem de Magos para o ano de 2013, sendo constituída pelas seguintes variáveis: valores médios diários de radiação solar, velocidade do vento e precipitação, humidade relativa horária e temperatura do ar média diária e horária. A partir desta informação foram determinados valores diários médios, mínimos e máximos para cada uma destas variáveis, os quais foram utilizados para a estimação das necessidades de rega através de um modelo de balanço hídrico do solo.

Quadro 1 – Valores de *Cloud Cover* por imagem

Valor de <i>Cloud Cover</i> por imagem										
17/04	11/05	12/06	20/06	06/07	22/07	07/08	23/08	08/09	24/09	10/10
13.16	1.00	16.00	3.13	0.10	1.00	10.95	4.61	0.10	32.54	0.14



2.3 – Métodos

Na Figura 2 encontra-se esquematizada a metodologia aplicada neste estudo que representa, desde o pré-processamento das imagens, à sua extração de informação necessária à classificação e à quantificação de necessidades de rega das culturas. Ao longo do estudo foram extraídas das imagens várias variáveis que caracterizam o estado da vegetação. Para cada uma das imagens foram calculados os valores de *NDVI* (equação 1), segundo Rouse *et al.* (1974), de *Kcb* (equação 2), de acordo com D'Urso e Belmonte (2006) de modo a determinar a fenologia de cada uma das parcelas em estudo, e de temperatura do solo, determinada segundo Chander *et al.* (2009) e Sameen e Kubaisy, (2014), variáveis utilizadas posteriormente na classificação das culturas. Esta informação foi extraída através do desenvolvimento de uma rotina em ambiente *MATLAB*.

$$NDVI = \frac{\rho_{INFRVERMELHO} - \rho_{VERMELHO}}{\rho_{INFRVERMELHO} + \rho_{VERMELHO}} \quad (1)$$

$$Kcb = 1.5625NDVI - 0.1 \quad (2)$$

A equação 2 representa a fórmula de cálculo dos valores de *Kcb*. Com esta informação foram determinadas as fases fenológicas das culturas (fases de sementeira/plantação, de crescimento rápido, de maturação e de colheita), através da determinação da curva do *Kcb* ao longo da época e da comparação com os valores indicados por Allen *et al.* (1998). A duração de cada estado fenológico foi estimada de acordo com a data de aquisição de cada imagem e pela análise dos resultados obtidos dos valores de *Kcb* para cada data. A estimativa das necessidades de rega para as várias culturas foi realizada com recurso ao modelo de balanço hídrico do solo *IrrigRotation* desenvolvido por Rolim e Teixeira (2008). Este modelo determina a quantidade de equilíbrio de água no solo de forma contínua no tempo através de simulações diárias. A informação meteorológica da Barragem de Magos, o tipo de solos presente em cada tipo de cultura e os valores de *Kcb* determinados pela equação 2 foram utilizados como dados de entrada do modelo *IrrigRotation*. Da utilização deste modelo resultaram as necessidades hídricas de rega das culturas. A classificação das culturas foi efetuada com recurso aos métodos de classificação de Máxima Verosimilhança e *SVM* implementados no *software* ENVI. Foram classificadas as culturas de arroz, tomate, milho e milho silagem. Numa primeira fase, e usando os dois métodos de classificação mencionados anteriormente, foram testadas algumas combinações de bandas multiespectrais (bandas vermelha, verde, azul, infravermelho próximo e infravermelho de curta distância) com imagens resultantes do cálculo de *NDVI* e de temperatura do solo de maneira a estimar a melhor combinação de bandas e os melhores parâmetros iniciais para os algoritmos de classificação. Os dois métodos de classificação foram testados com as imagens da data que apresentava os valores de *NDVI* mais elevados, ou seja, correspondente ao período em que as culturas se encontravam em estado de maior desenvolvimento. De modo a reduzir a confusão na classificação entre os vários tipos de cultura e destes com outros tipos de vegetação, aplicou-se uma máscara às imagens de modo a delimitar apenas as culturas em estudo. O método *SVM*, após uma segmentação inicial das imagens em objetos, tendo sido realizada a classificação baseada numa análise de imagem orientada a objetos, foi testado com recurso a vários parâmetros, destacando-se os seguintes: radiométricos (valores médios, de desvio-padrão, mínimo e máximo), textura (valores médios, de variância, entropia e alcance) e de forma (área, tamanho, compacidade e circularidade). Após a obtenção dos resultados preliminares, realizou-se a classificação multitemporal utilizando o algoritmo de classificação que devolveu os melhores resultados. Classificaram-se as culturas de arroz, tomate, milho e milho silagem. Os dados de treino dos classificadores e de validação dos resultados das classificações foram obtidos através da seleção das parcelas dos tipos de cultura identificados no sistema de identificação de parcelas do IFAP. Adotou-se como critério de seleção de dados treino metade do número de parcelas e para dados de validação a outra metade. Esta amostra foi selecionada de forma aleatória segundo uma amostra estratificada, perfazendo um total de 230 parcelas. Neste caso não foi possível recolher pelo menos 50 amostras por classe com tamanho inferior a um milhão de acres para menos de 12 classes, como referido por Congalton e Green (2009). Foram elaboradas matrizes de contingência e comparados os valores obtidos para a exatidão global, índice de *Kappa*, exatidão do produtor e do utilizador para cada uma das datas consideradas na série temporal.

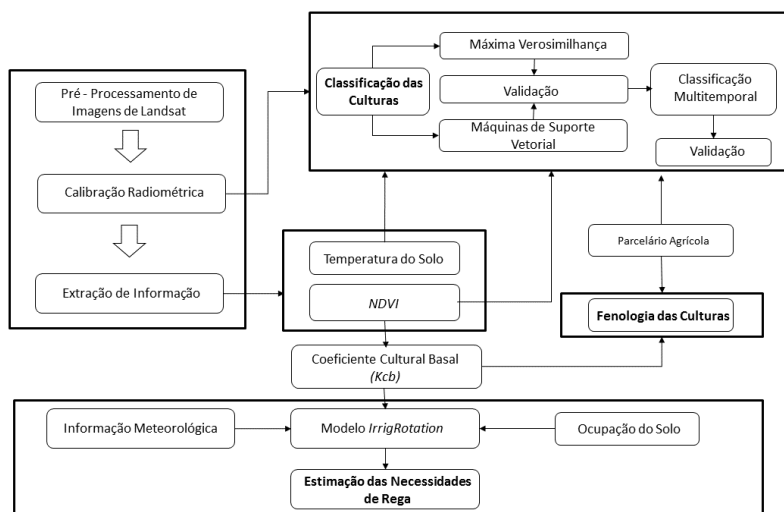


Figura 2 – Metodologia aplicada no estudo

3. Resultados e Discussão

3.1 – Curvas Fenológicas das Culturas e Necessidades de Rega

De acordo com as Figuras 3, 4, 5 e 6, as culturas em estudo, de um modo geral, têm um ciclo fenológico semelhante. No entanto, é possível observar que nem todas as parcelas de uma mesma cultura apresentaram os mesmos valores de K_{cb} ao longo da época de cultura. As maiores diferenças fenológicas entre parcelas verificaram-se principalmente na cultura de tomate (Figura 4), onde se constata uma grande quantidade de parcelas que tem um início do crescimento rápido mais cedo que as restantes, o que conduz a períodos de senescência precoces. Esta situação pode indicar a existência de diferentes tipos de variedades de tomate. As parcelas com culturas de melão, de arroz e de milho apresentam, na sua maioria, valores de K_{cb} e uma duração de cada estado fenológico muito homogêneos. Em relação às culturas de melão, estas apresentam uma curva de K_{cb} relativamente estável para todas as parcelas. Verifica-se que, pela análise das figuras 3 a 6, as culturas apresentam ciclos fenológicos muito semelhantes, o que resulta em durações para os diferentes estados fenológicos também análogas. Tal deveu-se ao fato de as imagens *Landsat* apresentarem uma fraca resolução temporal (16 dias) o que não permitiu uma estimativa mais rigorosa para a duração de cada um dos períodos do ciclo fenológico. Os valores obtidos, neste estudo, para o K_{cb} e para as durações das fases do ciclo fenológico mostram-se consistentes com os valores tabelados por Allen *et al.* (1998) (a preto nas Figuras 3 a 6). Os valores de K_{cb} para o período inicial, intermédio e de senescência e as respetivas durações estão indicados no Quadro 2, sendo estes os utilizados para a estimativa das necessidades de rega através do modelo *IrrigRotation*. Na Figura 7 está representada a quantidade de água total consumida na rega ao longo da época de cultura por parcela e no Quadro 3 estão indicados os valores médios totais por parcela de quantidade de água despendida na rega para as culturas de arroz, tomate, milho, milho silagem e melão.

3.2 – Classificação das Culturas

No Quadro 4 apresentam-se as precisões obtidas e o respetivo coeficiente $Kappa$ para cada uma das combinações testadas nos métodos de máxima verosimilhança e SVM. O algoritmo que proporcionou os melhores resultados foi o SVM utilizando as variáveis $NDVI$ e temperatura do solo adicionadas às bandas originais calibradas, apresentando uma exatidão global de 87, 2% e um valor para o índice $Kappa$ de 79%. A classificação multitemporal foi realizada com o método SVM utilizando a combinação de bandas multiespectrais, com as bandas sintéticas $NDVI$ e de temperatura do solo. Da análise desta figura verifica-se uma melhoria na exatidão global da classificação à medida que se adicionam imagens no processo de classificação temporal, obtendo uma exatidão global de 93.3% e um índice $Kappa$ de 90%. Na Figura 8 apresenta-se o mapa a classificação das culturas. No Quadro 5 está

representada a matriz de contingência do processo da classificação multitemporal efetuado. Através da análise desta verifica-se que as culturas de arroz, tomate e milho silagem são classificadas com uma exatidão superior de produtor e utilizador superior a 63%. A cultura de milho apresenta os piores resultados, devido à confusão ocorrida desta com a cultura de tomate.

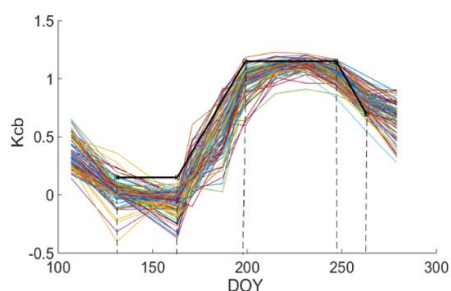


Figura 3 – Curva de Kcb para as culturas de Arroz e respectivas fases fenológicas

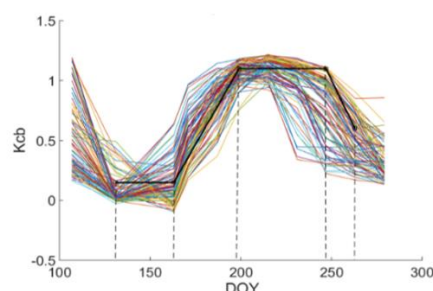


Figura 4 – Curva de Kcb para as culturas de Tomate e respectivas fases fenológicas

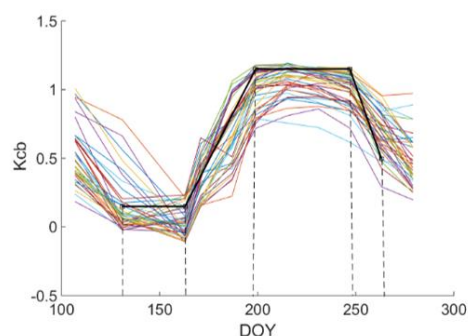


Figura 5 – Curva de Kcb para as culturas de Milho e respectivas fases fenológicas

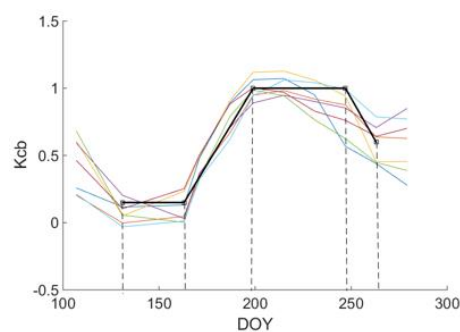


Figura 6 – Curva de Kcb para as culturas de Melão e respectivas fases fenológicas

Quadro 2 – Valores de Kcb por tipo de cultura nas fases inicial, intermédia e de senescência

	Inicial		Crescimento Rápido	Intermédio		Senescência	
	Valor de Kcb	Duração (dias)	Duração (Dias)	Valor de Kcb	Duração (dias)	Valor de Kcb	Duração (dias)
Arroz	0.15	32	40	1.15	48	0.70	16
Tomate	0.15			1.10		0.60	
Milho	0.15			1.15		0.50	
Melão	0.15			1.00		0.70	

Quadro 3 – Quantidade total de água consumida por cultura e média por parcela

Quantidade média de água consumida por parcela na Rega (mm)				
Arroz	Tomate	Milho	Melão	Milho Silagem
834.7	608.4	625.7	533.7	587.6

Quadro 4 – Precisões obtidas nas combinações testadas nos vários métodos usando os algoritmos Máxima Verosimilhança e Máquinas de Suporte Vetorial.

Classificação	Exatidão Global		Índice Kappa	
	Bandas + NDVI	Bandas + NDVI + Temperatura do solo	Bandas + NDVI	Bandas + NDVI + Temperatura do solo
Máxima Verosimilhança	78.2%	84.6%	66.7%	75.9%
Máquinas de Suporte Vetorial	86.2%	87.2%	76.8%	79.0%

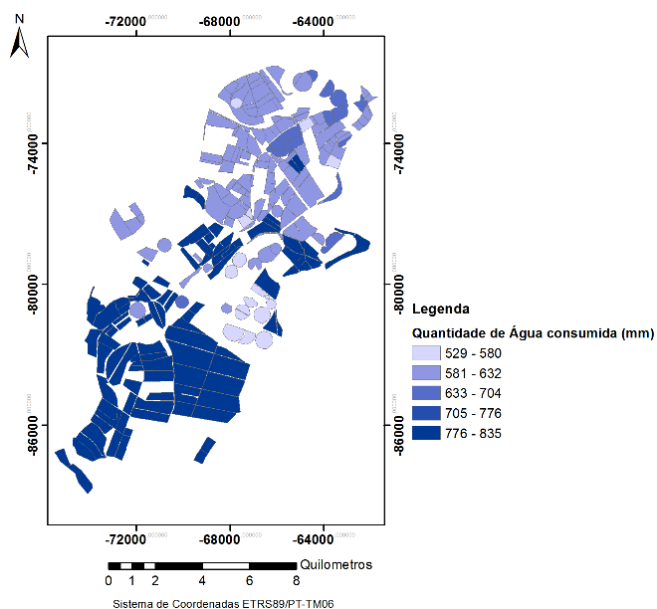


Figura 7 – Quantidade de água total consumida na rega ao longo da época de cultura por parcela

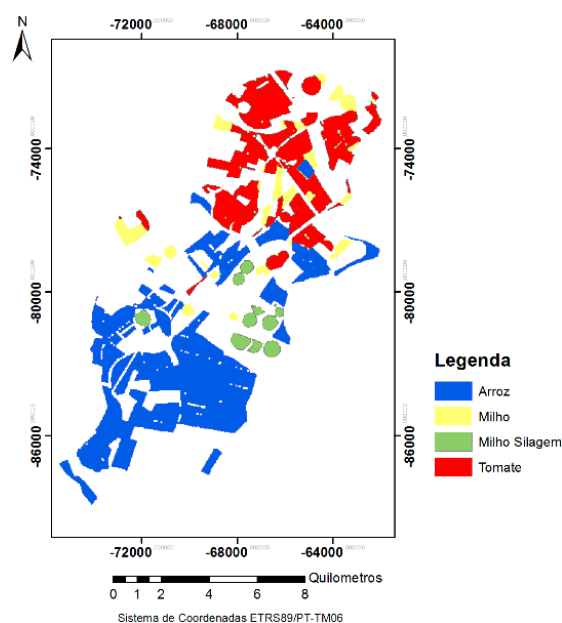


Figura 8 – Mapa de classificação das culturas

Quadro 5 – Matriz de contingência da classificação multitemporal cas culturas (%)

Classe	Tomate	Milho Silagem	Milho	Arroz	TOTAL	Exatidão do Utilizador
Tomate	96.1	0.0	26.6	0.0	33.1	89.5
Milho Silagem	0.0	88.2	8.8	0.1	4.7	75.5
Milho	3.7	0.0	63.2	0.4	9.4	86.1
Arroz	0.2	11.8	1.4	99.5	52.7	98.7
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Exatidão do Produtor	96.1	88.2	63.2	99.5		



4. Conclusões

A determinação dos valores de K_{cb} através de métodos de DR permitiu realizar a estimação das necessidades de rega com base na observação do ciclo de desenvolvimento das culturas. No entanto, a análise dos resultados obtidos por estes métodos deverá ser efetuada por quem possua experiência na gestão da rega. A utilização de imagens de Landsat permitiu a obtenção de bons resultados para a monitorização das várias fases do ciclo fenológico das diversas culturas, no entanto, a utilização de imagens de sensores com maior resolução temporal e espacial acrescentaria uma melhoria na determinação das fases fenológicas. A classificação das culturas através do método SVM, apresentou melhores resultados que o método de máxima verosimilhança. A combinação de bandas espectrais com as imagens de temperatura do solo apresentou-se favorável para a classificação das culturas. A utilização de uma série multitemporal permitiu de imagens permitiu um aumento significativo da exatidão global, sendo cerca de 6%, em relação à utilização de uma única imagem.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, nomeadamente à Eng.^a Célia Sousa, pela cedência da informação relativa às culturas existentes na zona de estudo que constam no Sistema de Identificação de Parcelas.

Referências Bibliográficas

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. (1998). Crop Evaporation (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56.
- Chander, G.; Markham, B.L.; Helder, D.L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, No. 5, Págs.893-909.
- Congalton, R.G.; Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC Press, 2.^a edição. Boca Raton, FL.
- D'Urso, G.; Belmonte, A.C. (2006). Operative Approaches to determine crop water requirements from earth observation data: Methodologies and applications. *Earth Observation for Vegetation Monitoring and Water Management*, G.D'Urso, M.A. Osann Jochum e J.Moreno, Centro Congressi Partenope – Università de Nipoli Federico II, Naples, 10-11 Novembro 2005. American Institute of Physics, Estados Unidos da América, Págs.14-25.
- Fonseca, A.D.; Fernandes, J.C. (2004). *Detecção Remota*. Lidel – Edições Técnicas, Lisboa, Portugal.
- Ke, Y.; Im, J.; Lee, J.; Gong, H.; Ryu, Y. (2015). Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 164, No., Págs. 289-313.
- Mishra, N.; Haque, M. O.; Leigh, L.; Aaron, D.; Helder, D.; Markham, B. (2014). Radiometric Cross Calibration of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). *Remote Sensing*, Vol. 6, No.12, Págs. 12619-12638.
- Perdigão, A.; Oliveira, P.; Chinita, A.; Chinita, S.; Maia, J.; Nunes, J. (2006). Success Stories: Data Collection And Ground Truth For The Portuguese Case Study (Caia Irrigation District). *Earth Observation for Vegetation Monitoring and Water Management*, G.D'Urso, M.A. Osann Jochum e J.Moreno, Centro Congressi Partenope – Università de Nipoli Federico II, Naples, 10-11 Novembro 2005. American Institute of Physics, Estados Unidos da América, Págs.51-58.
- Plural (2004). 1.^a Revisão do Plano Director Municipal de Vila Franca de Xira, Análise e Diagnóstico Caderno III – Caracterização Biofísica, Volume I, http://www.cm-vfxira.pt/uploads/document/file/415/Caderno_III_Caracteriza_o_Biof_sica.pdf, consultada em julho de 2015.
- Rolim, J.; Teixeira, J. (2008). IrrigRotation, a time continuous soil water balance model. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Vol.4, No. 7, Págs. 577-587.
- Rouse, J.W.; Hass, R.H.; Deering, D.W.; Schell, J.A. (1974). *Monitoring The Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation*, NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, Estados Unidos da América.
- Sameen, M.I.; Kubaisy, M.A.A. (2014). Automatic Surface Temperature Mapping in ArcGIS using Landsat-8 TIRS and ENVI Tools Case Study: Al Habbaniyah Lake., *Journal of Environment and Earth Science*, Vol.4, No. 12, Págs. 12-17.