

Utilização de índices obtidos a partir das imagens de satélite na monitorização das pastagens e no apoio à gestão do ecossistema *montado*

Using indexes obtained from satellite imagery to monitor pastures and support the management of *montado* ecosystems

João Serrano^{1,*}, Shakib Shahidian¹, Luís Paixão^{1,2}, José Maria Terrón³ & José Marques da Silva^{1,2}

¹ Universidade de Évora, ICAAM, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal

² Agroinsider Lda. (spin-off da Universidade de Évora), PITE, R. Circular Norte, NERE, Sala 18, 7005-841 Évora, Portugal

³ Cicitex- Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, Instituto de investigaciones Agrarias "La Orden-Valdesequera", Junta de Extremadura, 06187 Guadajira, Badajoz, Spain

(*E-mail: jms@uevora.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.18638>

Recebido/received: 2019.09.27

Aceite/accepted: 2019.12.03

RESUMO

Este estudo teve por objectivo avaliar o potencial das imagens de satélite para monitorizar a qualidade das pastagens e a humidade na camada superficial do solo no ecossistema *montado*. O ensaio decorreu entre 2016 e 2018 numa parcela experimental da Herdade da Mitra, em Valverde (Évora). Foram identificados 12 pixeis de amostragem do "Sentinel-2" (área de 10m x 10m, sem árvores), onde se procedeu mensalmente, durante o período de Primavera, à recolha de amostras de pastagem e à leitura dos valores do Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). Entre Janeiro de 2017 e Junho de 2018 foram também registados mensalmente os valores da humidade na camada superficial do solo (0-0,20m). Os resultados obtidos mostraram correlações significativas entre: (i) o NDVI e o NDWI; (ii) entre ambos os índices e os parâmetros de qualidade da pastagem (proteína bruta, PB; fibra em detergente neutro, NDF; humidade, HP; e índice de degradação da qualidade da pastagem, IDQP); (iii) entre o NDWI e a humidade superficial do solo (HS). Este conhecimento confirma o interesse das imagens de satélite para efeitos de gestão das pastagens e do encabeçamento animal, particularmente em termos de monitorização das necessidades de suplementação alimentar dos animais no período crítico entre o final da Primavera e o Verão.

Palavras-chave: qualidade das pastagens, humidade do solo, imagens de satélite, NDVI, NDWI

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the potential of using satellite images for monitoring the quality of pastures and soil surface moisture in the *montado* ecosystem. The experiment was carried out between 2016 and 2018 in an experimental field located at Herdade da Mitra, at Valverde (Évora). Twelve 10m x 10m plots were selected and associated to "Sentinel-2" pixels. During Spring, monthly pasture samples were taken from these pixels, and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI) were calculated. Between January 2017 and June 2018 monthly values of soil surface moisture (0-0.20m) were recorded. The results indicate significant correlations between: (i) NDVI and NDWI; (ii) between both indexes and the pasture quality parameters (crude protein, CP; Neutral Detergent Fiber, NDF; moisture, HP; and Pasture Quality Degradation Index, PQDI); (iii) between NDWI and soil moisture content (HS). This information confirms the interest in using satellite images for management of pastures and animal stocking, especially in terms of monitoring the needs for supplementary animal feed in the critical period between spring and summer.

Keywords: pastures quality, soil moisture content, satellite imagery, NDVI, NDWI

INTRODUÇÃO

O montado é um sistema de produção misto (agro-silvo-pastoril) característico da região Mediterrânica. A produção animal extensiva neste sistema baseia-se no consumo de pastagens permanentes de sequeiro (Efe Serrano, 2006). Estas pastagens são ecossistemas biodiversos que ocupam cerca de 22% da área da União Europeia (Cerasoli *et al.*, 2018) e que se desenvolvem a partir de Setembro-Outubro, após as primeiras chuvas, atravessam um período de fraco crescimento durante os meses de Dezembro a Fevereiro (devido à baixas temperaturas), a que se sucede o pico de produção primaveril (entre Abril e Maio), devido à conjugação favorável da humidade no solo com a subida da temperatura do ar (Efe Serrano, 2006). A partir de Junho, a escassez de precipitação, a consequente descida dos teores de água no solo e a subida acentuada das temperaturas leva à senescência das plantas e o fechar do ciclo, com uma quebra abrupta da produtividade. A qualidade da pastagem, caracterizada por altos teores de proteína bruta e baixos teores de fibra (Lugassi *et al.*, 2015), tende a diminuir ao longo do ciclo vegetativo levando, no final da Primavera, a um período crítico que exige a suplementação alimentar dos animais com forragens conservadas ou com alimento concentrado (Efe Serrano, 2006; Pullanagari *et al.*, 2018). Este padrão de desenvolvimento é típico das pastagens na região quando a distribuição da precipitação acontece de forma regular nas estações de Outono, Inverno e Primavera. No entanto, a irregularidade inter-anual da precipitação (Lumbierres *et al.*, 2017; Aguilar *et al.*, 2018) pode levar a padrões diferentes. Por exemplo, anos com Primavera chuvosa permitem a manutenção durante mais tempo de teores de humidade no solo, o que se reflecte positivamente na produtividade e na qualidade da pastagem, atrasando a necessidade de suplementação alimentar dos animais (Efe Serrano, 2006; Serrano *et al.*, 2018).

A disponibilidade de técnicas e tecnologias eficientes na monitorização de parâmetros relacionados com a qualidade da pastagem é essencial (Zhang *et al.*, 2016), especialmente num cenário de incerteza climática (Cerasoli *et al.*, 2018). A avaliação convencional dos teores de humidade no solo exige trabalho exaustivo de recolha de amostras de solo e posterior análise laboratorial. Por outro lado,

o método tradicional para determinação da qualidade da pastagem baseia-se no corte de amostras no campo seguido da determinação laboratorial de parâmetros como a CP ou o NDF (Lugassi *et al.*, 2015). Este processo é, no entanto, moroso, exigente em mão-de-obra e caro, incompatível com uma gestão racional das explorações agrícolas (Louhachi *et al.*, 2017; Lumbierres *et al.*, 2017; Pullanagari *et al.*, 2018).

A utilização de sensores próximos para determinação da humidade do solo (normalmente sondas TDR- “Time Domain Reflectometry”) é uma possibilidade expedita, mas que requer a prévia instalação de tubos de plástico no solo, dentro dos quais são realizadas as medições com as sondas a diferentes profundidades, e a deslocação frequente de técnicos ao campo para realizar as medições. Por outro lado, a monitorização da qualidade da pastagem tem merecido um grande desenvolvimento na última década (Moeckel *et al.*, 2017; Nawar *et al.*, 2017), nomeadamente, através de sensores ópticos como o “OptRx®” (Serrano *et al.*, 2018) ou o “Crop Circle™” (McEntee *et al.*, 2019), montados em plataformas móveis. A medição de diferentes bandas de radiação permite o cálculo de índices diversos, especialmente o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index; Rouse *et al.*, 1973), fortemente correlacionado com os teores de clorofila e, portanto, com o vigor vegetativo das plantas (Chai *et al.*, 2015; Gebremedhin *et al.*, 2019). Vários autores têm utilizado este índice para monitorizar o desenvolvimento qualitativo das culturas (Cerasoli *et al.*, 2018; Gebremedhin *et al.*, 2019; McEntee *et al.*, 2019). No entanto, esta abordagem exige também deslocações frequentes ao campo para captar a evolução do estado vegetativo da pastagem (Cerasoli *et al.*, 2018) e, consequentemente, da sua qualidade.

A disponibilidade de acesso a imagens de satélite representa actualmente uma abordagem tecnológica expedita e regular, com resolução espacial e temporal muito interessante. Vários autores publicaram trabalhos com aplicação da detecção remota (DR) à monitorização das culturas. Padilla *et al.* (2018) ou Serrano *et al.* (2018) mostraram a utilização do NDVI obtido por DR (equação 1) na monitorização da produtividade e da qualidade das culturas, enquanto Du *et al.* (2016), Cerasoli *et al.* (2018) e Serrano *et al.* (2019) mostraram o interesse

do índice NDWI obtido por DR (equação 2) na monitorização da humidade do solo ou da cultura.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (1)$$

Onde B4 e B8 são bandas de reflectância com comprimentos de onda de 665 nm e 842 nm, respectivamente, obtidas a partir de imagens de satélite (Sentinel-2).

$$NDWI = \frac{B8A - B1}{B8A + B1} \quad (2)$$

Onde B8A e B11 são bandas de reflectância com comprimentos de onda de 865 nm e 1610 nm, respectivamente, obtidas a partir de imagens de satélite (Sentinel-2).

Este estudo teve por objectivo avaliar o potencial das imagens de satélite para monitorizar a qualidade das pastagens e a humidade na camada superficial do solo no ecossistema montado.

MATERIAL E MÉTODOS

Parcela de estudo

A parcela de estudo, com uma área de 2,3 ha, localiza-se na Herdade da Mitra (coordenadas 38°32,2'N; 8°01,1'W), da Universidade de Évora, na região Sul de Portugal. Trata-se de uma parcela de montado de azinho (*Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam.) e pastagem permanente pastoreada por ovinos em sistema rotacional. Na parcela foram identificadas 12 áreas de amostragem (correspondentes a pixels de 10m × 10m do Sentinel-2) (Figura 1).

No Quadro 1 são apresentados os valores de precipitação acumulada (em mm) por estação do ano, em cada ano agrícola considerado neste estudo (registos da Estação Meteorológica da Mitra, da Universidade de Évora). É evidente a variabilidade inter-anual da distribuição da precipitação, característica do clima Mediterrânico: o ano de 2015/2016 apresentou uma distribuição regular da precipitação entre o Outono, o Inverno e a Primavera; no ano de 2016/2017 a precipitação concentrou-se

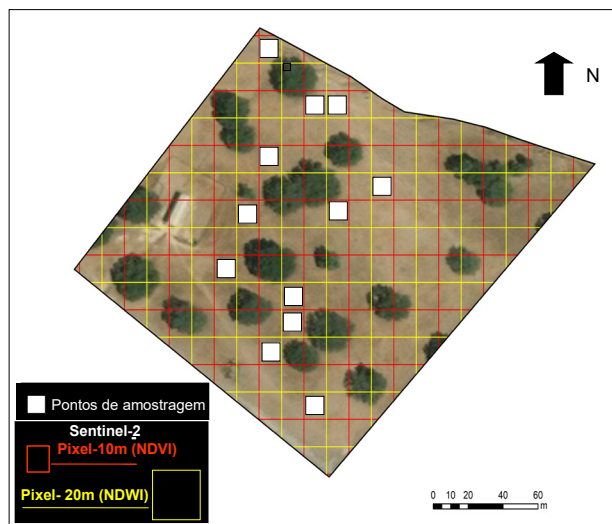


Figura 1 - Localização das áreas de amostragem (pixels “Sentinel-2”) na parcela experimental da Herdade da Mitra.

especialmente no Outono, apresentando-se o Inverno e a Primavera relativamente secos; no ano de 2017/2018 a precipitação concentrou-se especialmente no Inverno e na Primavera.

Quadro 1 - Precipitação acumulada (mm) por estação do ano, em cada ano agrícola considerado (registos da Estação Meteorológica da Mitra, Universidade de Évora)

Ano agrícola	Outono	Inverno	Primavera	Verão
2015/2016	116,3	206,7	123,6	9,2
2016/2017	183,5	118,7	48,1	8,6
2017/2018	130,5	354,5	178,4	12,8

Amostragem da pastagem

A amostragem da pastagem consistiu na determinação da produtividade, em termos de matéria seca (MS, kg ha⁻¹), e da qualidade, baseada nos teores de humidade (HP, %), de proteína bruta (PB, % da MS) e de fibra em detergente neutro (NDF, % da MS). Estes parâmetros foram obtidos após análises laboratoriais segundo protocolos standard das amostras compostas de pastagem recolhidas

mensalmente entre Fevereiro ou Março e Junho de 2016, 2017 e 2018. Foi ainda calculado o rácio NDF/PB, identificado como índice de degradação da qualidade da pastagem (IDQP; Serrano *et al.*, 2018).

Amostragem da humidade do solo

Em Dezembro de 2016 foram instalados 12 tubos de plástico em PVC, um em cada área de amostragem. A humidade do solo (HS, %) foi medida por sondas TDR (TRIME-FM, IMKO—Micromodultechnik, GmbH, Ettlingen, Germany), mensalmente entre Janeiro de 2017 e Junho de 2018. Foram consideradas neste estudo as medições de humidade na camada de solo de 0-0,20 m, tendo em conta a profundidade normalmente explorada pelas raízes das pastagens (Efe Serrano, 2006).

Amostragem a partir de imagens de satélite

Procedeu-se à leitura de imagens ópticas de satélite (Sentinel-2) para obtenção das bandas de reflectância necessárias ao cálculo dos índices NDVI (equação 1) e NDWI (equação 2). Foram considerados os registos, sem perturbação de nuvens, temporalmente mais próximos de cada data da recolha das amostras de pastagem e de humidade do solo.

Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados incluiu a análise descritiva com o cálculo da média e do desvio padrão de cada conjunto de dados referentes à pastagem, à humidade do solo e aos índices obtidos a partir das imagens de satélite. Procedeu-se também à análise de regressão entre os índices obtidos a partir das imagens de satélite (NDVI e NDWI), os parâmetros da pastagem (HP, PB, NDF e IDQP) e a humidade do solo (HS). Os procedimentos estatísticos foram realizados com o programa “MS-TAT-C” (MSTAT-C, Michigan State University, MI, USA), com um nível de significância de 95% ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Padrão de evolução dos parâmetros medidos

A média e o desvio padrão dos parâmetros medidos, no conjunto dos 12 pontos de amostragem, referentes à qualidade da pastagem e aos correspondentes índices NDVI e NDWI são apresentados no Quadro 2, enquanto no Quadro 3 são apresentados os valores da humidade do solo e do correspondente NDWI.

Quadro 2 - Estatística descritiva (média \pm DP) dos parâmetros da pastagem medidos mensalmente na Primavera de 2016, 2017 e 2018, no conjunto dos doze pontos de amostragem

Data	MS, kg ha ⁻¹	HP, %	PB, %	NDF, %	IDQP	NDVI	NDWI
2016							
15/03	1868 \pm 661	86.8 \pm 2.6	12.8 \pm 1.6	36.2 \pm 4.1	2.8 \pm 0.4	0.624 \pm 0.025	0.471 \pm 0.008
28/04	2987 \pm 1194	86.0 \pm 1.3	10.5 \pm 1.8	50.5 \pm 5.5	5.1 \pm 1.5	0.687 \pm 0.039	0.494 \pm 0.016
25/05	3582 \pm 961	89.2 \pm 4.0	8.6 \pm 2.2	64.5 \pm 2.9	8.1 \pm 2.7	0.478 \pm 0.044	0.517 \pm 0.022
16/06	6191 \pm 1791	61.3 \pm 6.9	6.7 \pm 1.3	65.1 \pm 5.0	10.1 \pm 2.6	0.379 \pm 0.050	0.040 \pm 0.036
2017							
21/02	1458 \pm 671	76.9 \pm 13.6	14.2 \pm 3.5	51.2 \pm 12.9	4.0 \pm 2.1	0.576 \pm 0.059	0.240 \pm 0.040
21/03	2067 \pm 792	81.7 \pm 5.0	14.8 \pm 3.2	49.6 \pm 7.8	3.5 \pm 1.2	0.640 \pm 0.039	0.358 \pm 0.036
18/04	4600 \pm 1848	68.4 \pm 5.8	7.4 \pm 1.3	60.4 \pm 5.1	8.5 \pm 1.9	0.596 \pm 0.051	0.254 \pm 0.046
23/05	2917 \pm 984	49.4 \pm 8.4	7.7 \pm 1.2	72.7 \pm 3.7	9.7 \pm 2.0	0.340 \pm 0.052	-0.002 \pm 0.035
14/06	1467 \pm 641	15.0 \pm 4.8	5.4 \pm 0.8	78.1 \pm 2.6	14.9 \pm 2.5	0.261 \pm 0.048	-0.086 \pm 0.027
2018							
08/02	800 \pm 468	79.9 \pm 8.9	15.9 \pm 4.5	33.5 \pm 15.3	2.5 \pm 1.9	0.624 \pm 0.047	0.205 \pm 0.076
07/03	1240 \pm 713	83.7 \pm 6.5	15.0 \pm 3.0	33.8 \pm 10.8	2.5 \pm 1.4	0.654 \pm 0.051	0.247 \pm 0.081
09/04	2600 \pm 1435	84.6 \pm 2.3	10.8 \pm 2.0	37.7 \pm 6.5	3.6 \pm 0.9	0.695 \pm 0.033	0.430 \pm 0.036
02/05	2075 \pm 625	82.5 \pm 3.1	14.0 \pm 3.2	44.7 \pm 7.0	3.4 \pm 1.1	0.718 \pm 0.015	0.452 \pm 0.013
04/06	5108 \pm 1530	68.1 \pm 3.1	9.1 \pm 1.5	59.2 \pm 4.3	6.7 \pm 1.3	0.397 \pm 0.043	0.449 \pm 0.038

MS- Matéria seca; HP- Humidade da pastagem; PB- Proteína bruta; NDF- Fibra em Detergente Neutro; IDQP- Índice de degradação da qualidade da pastagem; NDVI- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NDWI- Índice de Diferença Normalizada da Água.

Quadro 3 - Estatística descritiva (média \pm DP) da humidade do solo (HS) e do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) medidos mensalmente entre Janeiro de 2017 e Junho de 2018, no conjunto dos doze pontos de amostragem

Data	HS, %	NDWI
2017		
19/01	18.3 \pm 2.1	0.231 \pm 0.026
21/02	20.1 \pm 3.2	0.240 \pm 0.040
21/03	18.5 \pm 2.9	0.358 \pm 0.036
18/04	14.8 \pm 2.6	0.254 \pm 0.046
23/05	11.9 \pm 1.9	-0.002 \pm 0.035
14/06	8.9 \pm 3.3	-0.086 \pm 0.027
03/08	7.2 \pm 2.8	-0.108 \pm 0.046
15/09	7.0 \pm 3.0	-0.129 \pm 0.035
20/10	10.4 \pm 2.6	0.007 \pm 0.027
27/11	12.3 \pm 2.5	-0.001 \pm 0.076
13/12	15.8 \pm 2.2	0.098 \pm 0.081
2018		
12/01	18.9 \pm 2.3	0.192 \pm 0.048
08/02	17.8 \pm 2.8	0.205 \pm 0.076
07/03	22.2 \pm 2.0	0.247 \pm 0.081
09/04	22.6 \pm 1.9	0.430 \pm 0.036
02/05	18.8 \pm 3.1	0.452 \pm 0.013
04/06	18.0 \pm 2.5	0.449 \pm 0.038

HS- Humidade do solo; NDWI- Índice de Diferença Normalizada da Água.

Estes resultados reflectem o padrão normal de evolução dos parâmetros indicadores da qualidade da pastagem e da humidade do solo.

No que se refere à pastagem, a premissa mais importante para aumentar a produtividade da produção animal neste ecossistema está relacionada com a qualidade das pastagens (Aguilar *et al.*, 2018). A análise do Quadro 2 e da Figura 2 permite verificar a tendência para a quebra dos indicadores de qualidade da pastagem (HP e PB) à medida que o ciclo vegetativo evolui no decurso dos meses de Primavera (Figura 2a). Em sentido inverso verifica-se, no mesmo período, um agravamento dos indicadores de degradação da qualidade da pastagem (NDF e IDQP; Figura 2b). No entanto, em Abril de 2018 verifica-se uma inflexão na tendência de degradação da qualidade da pastagem, com uma subida da PB e uma descida do IDQP. Este comportamento reflecte a concentração de precipitação nos meses de Primavera de 2018 (178,4 mm), os quais permitiram prolongar o período de maior vigor vegetativo da pastagem. Se tivermos em consideração os valores de referência quanto às necessidades de manutenção dos ovinos em termos de PB (9,4%; NRC, 1985), percebemos que seria necessário suplementar os animais em pastoreio a partir de Maio em 2016 ou

a partir de Abril em 2017, mas apenas a partir de Junho em 2018 (Quadro 2). Essas datas são confirmadas pelo forte agravamento do IDQP (Quadro 2). A análise do Quadro 2 permite também verificar que ambos os índices (NDVI e NDWI; Figura 2c) acompanham a tendência de evolução dos indicadores de qualidade da pastagem (HP e PB), o que pode constituir um aspecto muito relevante neste complexo ecossistema devido à elevada heterogeneidade resultante da diversidade de espécies botânicas, das condições ambientais e das práticas de gestão (Schellberg *et al.*, 2008; Lugassi *et al.*, 2015).

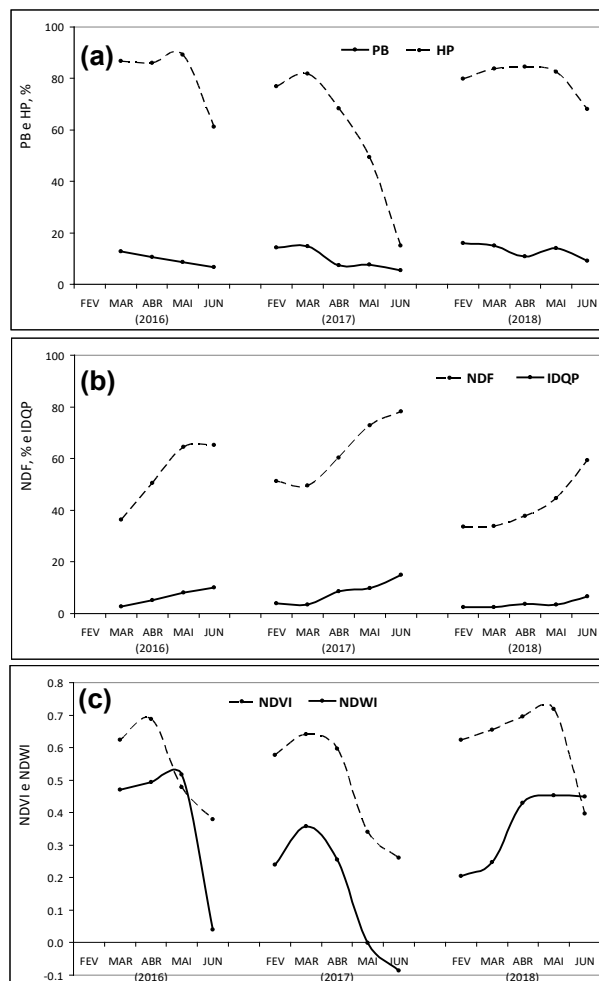


Figura 2 - Evolução dos parâmetros (a) Proteína Bruta (PB) e Humidade da Pastagem (HP); (b) Fibra (NDF) e Índice de Degradação da Qualidade da Pastagem (IDQP); (c) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) entre Fevereiro e Junho de 2016 a 2018.

Quanto à humidade do solo (HS), no ano de 2017 verificaram-se valores mais elevados nos meses de Inverno (com um máximo de 20,1% em Fevereiro) e valores mais baixos nos meses de Verão (com mínimos de 7,2% e 7,0%, respectivamente em Agosto e Setembro). No ano de 2018 (primeiro semestre) o valor máximo de HS registou-se já na Primavera (22,6% em Abril), o que traduz o efeito de uma Primavera relativamente chuvosa (ver Quadro 1). Também aqui o NDWI tende a acompanhar a evolução da HS.

Estes resultados evidenciam o interesse potencial nestas regiões do Mediterrâneo para a utilização de sistemas de rega pontuais que permitam manter a humidade no solo durante mais tempo no final da Primavera e início do Verão, especialmente em anos com reduzida precipitação neste período, garantindo assim o prolongar do ciclo vegetativo das plantas e a qualidade da pastagem. Esta poderá ser uma estratégia de melhoria do montado na região pecuária do Alentejo em Portugal, a juntar à fertilização e correcção do solo com tecnologias de aplicação variável (VRT, "Variable Rate Technology") ou à utilização de pastagens biodiversas.

Correlação entre o NDVI e o NDWI e os parâmetros de qualidade da pastagem e de humidade do solo

Os resultados da abordagem focada no padrão de evolução dos parâmetros de monitorização da qualidade da pastagem mostram o interesse em relacionar as medições directas de qualidade com medições realizadas por sensores remotos. Os agricultores necessitam de dados sobre a variabilidade espacial e temporal da qualidade da pastagem para garantirem a alimentação adequada dos animais ao longo do ano (Pullanagari *et al.*, 2018). O que se pretende é testar se esta abordagem tecnológica é válida no apoio à tomada de decisão na gestão da pastagem e do pastoreio animal no ecossistema montado.

As Figuras 3 e 4 ilustram, respectivamente, a correlação entre o NDVI, os teores de PB e de fibra (NDF) e entre o NDVI, a HP e o IDQP. Todas as correlações do NDVI com os parâmetros de qualidade da pastagem foram significativas, positivas com a PB e a HP (R^2 de 0,61 e 0,87, respectivamente)

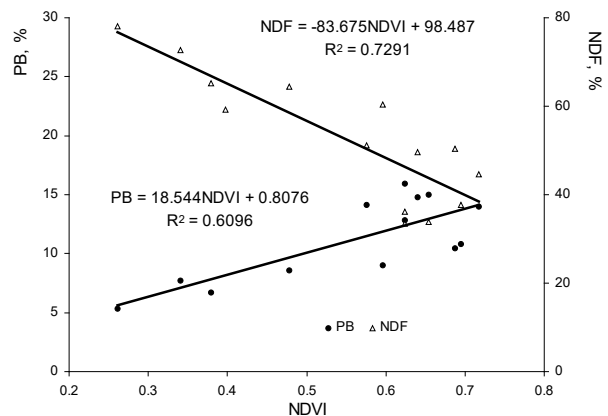


Figura 3 - Relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a Proteína Bruta (PB) e a fibra (NDF) da pastagem.

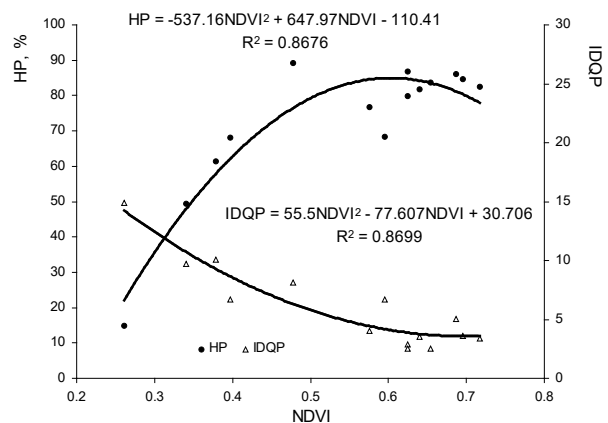


Figura 4 - Relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a Humidade da Pastagem (HP) e o Índice de Degradação da Qualidade da Pastagem (IDQP).

e negativas com o NDF e com o IDQP (R^2 de 0,73 e 0,87, respectivamente). Estes elevados coeficientes de determinação revelam o potencial dos sensores ópticos para caracterizar o estado das culturas (Cerasoli *et al.*, 2018; Gebremedhin *et al.*, 2019; McEntee *et al.*, 2019), o que pode ser atribuído à absorvância da radiação visível pela clorofila, a qual é abundante na vegetação verde (Zhao *et al.*, 2007; Albayrak, 2008; Pullanagari *et al.*, 2018).

As Figuras 5 e 6 ilustram, respectivamente, a correlação entre o NDWI, os teores de PB e de fibra (NDF) e entre o NDWI, a HP e o IDQP. À

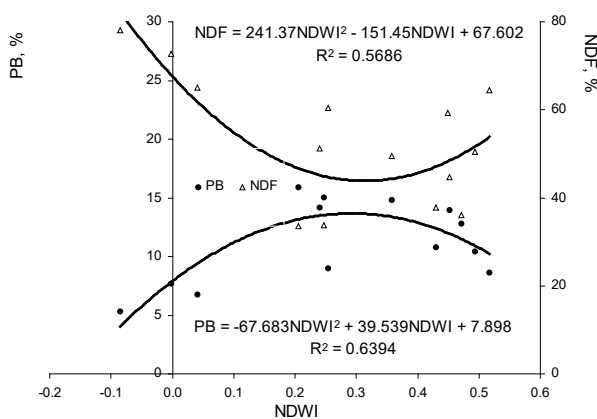


Figura 5 - Relação entre o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), a Proteína Bruta (PB) e a fibra (NDF) da pastagem.

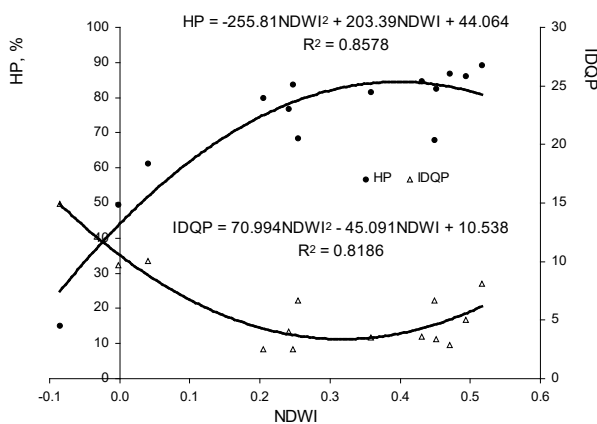


Figure 6 - Relação entre o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), a Humidade da Pastagem (HP) e o Índice de Degradação da Qualidade da Pastagem (IDQP).

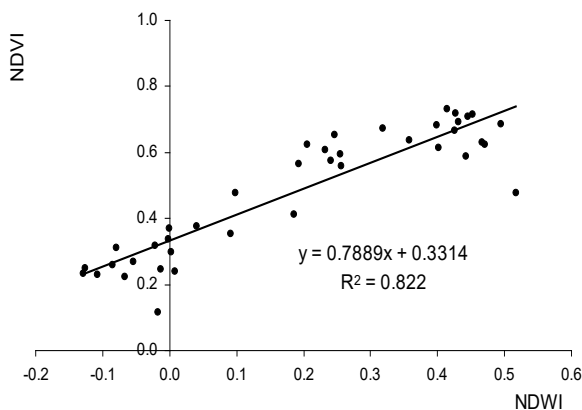


Figura 7 - Relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI).

semelhança do que sucedeu com o NDVI, todas as correlações do NDWI com os parâmetros de qualidade da pastagem foram significativas, positivas com a PB e a HP (R^2 de 0,64 e 0,86, respectivamente) e negativas com o NDF e com o IDQP (R^2 de 0,57 e 0,82, respectivamente). A forte correlação entre estes dois índices (NDVI e NDWI) é confirmada na Figura 7 ($R^2=0.82$), o que encontra justificação no facto do NDVI se correlacionar com os teores de clorofila das plantas (Chai *et al.*, 2015) e o NDWI se correlacionar com a HP (Cerasoli *et al.*, 2018), ambos parâmetros indicadores de qualidade.

A Figura 8 relaciona o NDWI com o teor de humidade da camada superficial do solo (HS). O elevado coeficiente de determinação ($R^2=0.76$) entre estes parâmetros está em linha com o princípio de obtenção deste “Water Index” (Gao, 1996) e representa uma possibilidade importante, especialmente no apoio à gestão de sistemas que permitam a introdução de equipamentos móveis de rega com vista a alargar o período maior vigor vegetativo das pastagens.

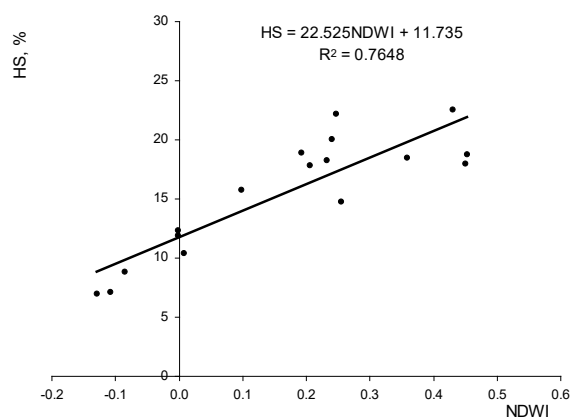


Figura 8 - Relação entre o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) e a Humidade do Solo (HS).

Apesar do elevado potencial que apresenta esta abordagem tecnológica baseada na detecção remota, algumas limitações, como a perturbação das imagens resultante da presença de nuvens ou a presença de árvores, levam a admitir a vantagem da complementaridade que pode resultar da utilização de sensores óptimos próximos na situação concreta do montado (Serrano *et al.*, 2018, 2019).

CONCLUSÕES

As pastagens são a base da alimentação animal nos sistemas de produção extensivos integrados no ecossistema montado. A sazonalidade e a variabilidade climática inter-anual da região Mediterrânica levam a que cada ano seja diferente em termos de evolução do ciclo vegetativo das pastagens de sequeiro. Aspecto acentuado pela complexidade resultante das interações entre o solo, a pastagem, as árvores e os animais. É neste contexto altamente imprevisível que o gestor agrícola tem que tomar decisões de gestão da pastagem e do pastoreio.

Este estudo demonstrou o interesse dos índices NDVI e NDWI obtidos a partir de imagens de satélite (Sentinel-2). Estes índices apresentaram correlações significativas com indicadores de qualidade da pastagem (HP, PB, NDF e IDQP). Os resultados obtidos, por um lado, abrem boas perspectivas para empresas de base tecnológica fornecerem um serviço de apoio ao agricultor em termos oportunidade/necessidade de suplementação alimentar dos

animais com base na monitorização da qualidade da pastagem e, por outro, reforçam o impacto positivo que regas pontuais e inteligentes realizadas na fase crítica entre o final da Primavera e o início do Verão podem ter na manutenção do valor nutritivo das pastagens. Para este efeito é importante conduzir estudos de avaliação custo - benefício numa perspectiva holística para melhoria da pastagem, seguindo a tendência actual resultante da utilização de pastagens biodiversas, da aplicação diferenciada de fertilizantes e de correctivos ou do pastoreio dinâmico.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto UID/AGR/00115/2019 e pelos projectos INNOACE (“Innovación abierta y inteligente en la EUROACE”), PDR2020-101-030693 e PDR2020-101-031244 (“Programa 1.0.1-Grupos Operacionais”).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A.L.; Flores, H.; Crespo, G.; Marín, M.I.; Campos, I. & Calera, A. (2018) – Performance assessment of MOD16 in Evapotranspiration evaluation in Northwestern Mexico. *Water*, vol. 10, n. 7, p. 901–914. <https://doi.org/10.3390/w10070901>
- Albayrak, S. (2008) – Use of reflectance measurements for the detection of N, P, K, ADF and NDF contents in Sainfoin pasture. *Sensors*, vol. 8, n. 11, p. 7275–7286. <https://doi.org/10.3390/s8117275>
- Cerasoli, S.; Campagnolo, M.; Faria, J.; Nogueira, C. & Caldeira, M.C. (2018) – On estimating the gross primary productivity of Mediterranean grasslands under different fertilization regimes using vegetation indices and hyperspectral reflectance. *Biogeosciences*, vol. 15, n. 17, p. 5455–5471. <https://doi.org/10.5194/bg-15-5455-2018>
- Chai, X.; Zhang, T.; Shao, Y.; Gong, H.; Liu, L. & Xie, K. (2015) – Modeling and mapping soil moisture of plateau pasture using RADARSAT-2 imagery. *Remote Sensing*, vol. 7, n. 2, p. 1279–1299. <https://doi.org/10.3390/rs70201279>
- Du, Y.; Zhang, Y.; Ling, F.; Wang, Q.; Li, W. & Li, X. (2016) – Water bodies’ mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sensing*, vol. 8, n. 4, p. 354–372. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>
- Efe Serrano, J. (2006) – *Pastures in Alentejo: Technical basis for characterization, grazing and improvement*. Universidade de Évora, ICAM, Évora, Portugal, pp.165–178.
- Gao, B.-C. (1996) – NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, vol. 58, n. 3, p. 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gebremedhin, A.; Badenhorst, P.E.; Wang, J.; Spangenberg, G.C. & Smith, K.F. (2019) – Prospects for Measurement of Dry Matter Yield in Forage Breeding Programs Using Sensor Technologies. *Agronomy*, vol. 9, n. 2, p. 65–83. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020065>

- Louhaichi, M.; Hassan, S.; Clifton, K. & Johnson, D. E. (2018) – A reliable and non-destructive method for estimating forage shrub cover and biomass in arid environments using digital vegetation charting technique. *Agroforestry Systems*, vol. 92, n. 5, p. 1341–1352. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0079-4>
- Lugassi, R.; Chudnovsky, A.; Zaady, E.; Dvash, L. & Goldshleger, N. (2015) – Spectral slope as an indicator of pasture quality. *Remote Sensing*, vol. 7, n. 1, p. 256–274. <https://doi.org/10.3390/rs70100256>
- Lumbierres, M.; Méndez, P.F.; Bustamante, J.; Soriguer, R. & Santamaria, L. (2017) – Modeling biomass production in seasonal wetlands using Modis NDVI land surface phenology. *Remote Sensing*, vol. 9, n. 4, p. 392–409. <https://doi.org/10.3390/rs9040392>
- McEntee, P.J.; Bennett, S.J. & Belford, R.K. (2019) – Mapping the spatial and temporal stability of production in mixed farming systems: an index that integrates crop and pasture productivity to assist in the management of variability. *Precision Agriculture*, in press. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09658-6>
- Moeckel, T.; Safari, H.; Reddersen, B.; Fricke, T. & Wachendorf, M. (2017) – Fusion of ultrasonic and spectral sensor data for improving the estimation of biomass in grassland with heterogeneous sward structure. *Remote Sensing*, vol. 9, n. 1, p. 98–111. <https://doi.org/10.3390/rs9010098>
- NRC (1985) – Nutrient Requirements of Sheep (Vol. 5), Six Revised ed.; National Research Council; National Academy Press: Washington, DC, USA.
- Nawar, S.; Corstanje, R.; Halcro, G.; Mulla, D. & Mouazen, A.M. (2017) – Delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: A review. *Advances in Agronomy*, vol. 143, p. 175–245. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.003>
- Padilla, F.M.; Gallardo, M.; Peña-Fleitas, M.T.; Souza, R. & Thompson, R.B (2018) – Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: a review. *Sensors*, vol. 18, n. 7, p. 2083–2105. <https://doi.org/10.3390/s18072083>
- Pullanagari, R.R.; Yule, I.J.; Tuohy, M.P.; Hedley, M.J.; Dynes, R.A. & King, W.M. (2013) - Proximal sensing of the seasonal variability of pasture nutritive value using multispectral radiometry. *Grass and Forage Science*, vol. 68, n. 1, p. 110–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00877.x>
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. & Deering, D. W. (1973) – *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Progress Report RSC 1978-1.
- Schellberg, J.; Hill, M. J.; Gerhards, R.; Rothmund, M. & Braun, M. (2008) – Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, vol. 29, n. 2–3, p. 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>
- Serrano, J.; Shahidian, S. & Marques da Silva, J. (2018) – Monitoring seasonal pasture quality degradation in the Mediterranean montado ecosystem: proximal versus remote sensing. *Water*, vol. 10, n. 10, p. 1422–1441. <https://doi.org/10.3390/w10101422>
- Serrano, J.; Shahidian, S. & Marques da Silva, J. (2019) – Evaluation of normalized difference water index as a tool for monitoring pasture seasonal and inter-annual variability in a Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Water*, vol. 11, n. 1, p. 62–81. <https://doi.org/10.3390/w11010062>
- Zhang, Y.; Xiao, Y.; Zhuang, Z; Zhou, L.; Liu, F. & He, Y. (2016) – Development of a near ground remote sensing system. *Sensors*, vol. 16, n. 5, p. 648–661. <https://dx.doi.org/10.3390/s16050648>
- Zhao, D.; Starks, P.; Brown, M.; Phillips, W. & Coleman, S. (2007) – Assessment of forage biomass and quality parameters of bermudagrass using proximal sensing of pasture canopy reflectance. *Grassland Science*, vol. 53, n. 1, p. 39–49. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2007.00072.x>