

# Avaliação do sensor óptico de vegetação OptRx® na monitorização da variabilidade espacial e temporal de pastagens

## Evaluation of the optical OptRx® crop sensor for monitoring the spatial and temporal variability of pastures

João M. Serrano\*, Sérgio Barreto, Shakib Shahidian e José Marques da Silva

*JCAAM, Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, P.O. Box 94, 7002-554 Évora, Portugal.  
(\*E-mail: jmrs@uevora.pt)  
<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15101>*

Recebido/received: 2015.08.12  
Aceite/accepted: 2015.12.03

### RESUMO

A estimativa da produtividade das pastagens constitui uma etapa fundamental para o gestor agrícola em termos de planeamento do encabeçamento animal, organização dos lotes de animais e avaliação das necessidades de suplementação alimentar ao longo do ano. O objectivo principal deste trabalho consistiu na avaliação de um sensor óptico activo (“OptRx”, que mede o índice NDVI, “Normalised Difference Vegetation Index”) para monitorizar de forma expedita aspectos relacionados com a variabilidade da pastagem e apoiar a tomada de decisão do gestor agrícola. Os resultados obtidos demonstraram o potencial que apresenta o índice NDVI para monitorizar a evolução do padrão espacial e temporal do estado vegetativo de uma pastagem biodiversa. Índices mais elevados foram registados à medida que a pastagem se aproximava do seu maior vigor vegetativo, notando-se uma quebra significativa destes índices no final da Primavera, quando a pastagem começou a secar em virtude da conjugação de temperaturas mais elevadas com a redução dos teores de humidade no solo. Este índice foi também efectivo na identificação de diferentes famílias botânicas (gramíneas/leguminosas) e diferentes produtividades na pastagem. Por outro lado, foi possível desenvolver equações de calibração do NDVI com a produção de matéria verde e de matéria seca (em kg/ha), tendo sido evidenciada uma relação inversa deste índice com o teor de matéria seca (em %) de pastagens de sequeiro do Alentejo.

**Palavras-chave:** monitorização, NDVI, pastagens, produtividade.

### ABSTRACT

The estimation of pasture productivity is an important step for the farmer in terms of planning animal stocking, organizing animal lots and determining supplementary feeding needs throughout the year. The main objective of this work was to evaluate a active optical sensor (“OptRx®”, which measures NDVI, Normalised Difference Vegetation Index) for monitoring aspects related to pasture variability and support to decision making for the farmer. The results showed the potential of NDVI for monitoring the evolution of spatial and temporal patterns of the vegetative state of biodiverse pasture. The higher NDVI were registered as pasture approached its greatest vegetative vigor, with a significant fall in the measured NDVI at the end of Spring, when the pasture began to dry due to the combination of higher temperatures and lower soil moisture content. This index was also effective for identifying different plant species (grasses/legumes) and variability in pasture yield. Furthermore, it was possible to develop calibration equations between the NDVI and pasture green and dry matter yield (kg/ha). Finally, an inverse relationship was obtained between NDVI and the pasture dry matter content (in %) in Alentejo dry-land farming systems.

**Keywords:** monitoring, NDVI, pastures, productivity.

## INTRODUÇÃO

A agricultura confronta-se actualmente com o desafio de aumentar a produção de alimentos em resposta ao crescimento da população mundial. Junta-se a este desafio de produtividade no contexto global do sector agrícola, a necessidade de baixar os custos de produção e de melhorar a eficiência na utilização dos recursos naturais e dos factores de produção, de modo a reduzir o impacto ambiental desta actividade. É neste contexto que surge a agricultura de precisão (AP), conceito que tem associada a utilização de tecnologias para recolha e registo de dados (sensores e sistemas electrónicos de informação), ferramentas de gestão de informação e análise de dados (“Sistemas de Informação Geográfica”, SIG) e os meios para apoiar este sistema, entre outros, os “Sistemas de Navegação Global por Satélite” (GNSS, “*Global Navigation Satellite System*”) ou as “Tecnologias de Taxa Variável” (VRT, “*Variable Rate Technology*”) (Braga e Pinto, 2011; Serrano *et al.*, 2014b).

Os sistemas agro-florestais extensivos (designados “montado” em Portugal e “dehesa” em Espanha) cobrem 3,5-4 milhões de hectares em Portugal e Espanha (Seddaiu *et al.*, 2013). Esta forma de ocupação do solo integra pastagens biodiversas, diferentes espécies de árvores, afloramentos rochosos e animais em pastoreio e representa 26% da área agrícola mundial (Rutledge *et al.*, 2014; Schipper *et al.*, 2014) e 33% da área total de floresta em Portugal (David *et al.*, 2013). Sendo uma imagem característica do Alto Alentejo, a variabilidade deste ecossistema revela todo o potencial para a gestão diferenciada e projecta-o no cenário de AP (Serrano *et al.*, 2014a).

A produção de pastagens e forragens para além de suporte à pecuária extensiva, também proporciona o uso sustentado do solo, permitindo a sua cobertura vegetal ao longo de todo o ano, reduzindo os riscos de erosão (Efe Serrano, 2006). A importância das pastagens é hoje reconhecida na protecção do meio ambiente, na conservação da biodiversidade e dos recursos naturais, na prevenção dos fogos florestais, no sequestro de carbono e na redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera, na reciclagem de nutrientes e na melhoria da fertilidade dos solos, na formação de uma paisagem mais harmoniosa, na fixação das populações rurais e no combate à desertificação.

Esta importância relevante justifica a aplicação de tecnologias adequadas face à diversidade dos padrões relacionados com a variabilidade espacial do solo e da cultura, a diversidade de espécies e composições florísticas, a dinâmica da vegetação, as características do relevo, os sistemas de pastoreio animal ou as condições climáticas, as quais podem ser considerados constrangimentos na aplicação de tecnologias de AP em pastagens (Schellberg *et al.*, 2008). O contributo da indústria para a agricultura verificou-se no desenvolvimento das ferramentas necessárias para conseguir dar resposta a esta variabilidade espacial (Cox, 2002). Vários métodos têm sido propostos para simplificar a estimativa da biomassa produzida numa pastagem (Trotter *et al.*, 2012), entre elas a sonda de capacitância (Vickery *et al.*, 1982) ou o disco compressor (Laca *et al.*, 1989). Apesar destas técnicas apresentarem resultados interessantes, por serem manuais não permitem estimar a variabilidade da produção de pastagem em extensas áreas sem considerável esforço (Trotter *et al.*, 2012). Para ultrapassar este problema, têm sido desenvolvidas outras técnicas que apresentam potencial para serem montadas em veículos, incluindo os sensores ópticos activos (Trotter, 2010), o medidor “C-DAX Pasture meter” (C-DAX Ltd, Palmston North, New Zealand) ou o medidor de ultrasons (“FarmWorks ultrasonic feed reader”, Department of Primary Industries, Austrália) (King *et al.*, 2010). Há ainda outros desenvolvimentos interessantes apoiados na detecção remota, baseada em imagens de satélite, permitindo deduzir índices de vegetação. Donald *et al.* (2013) usaram imagens do satélite Landsat para obter o NDVI e, a partir deste, estimar a produção de biomassa de pastagens.

Os sensores ópticos incluem-se na categoria de sensores próximos e procuram dar resposta a algumas das limitações levantadas pela detecção remota (imagens de satélite ou aéreas) (Bausch e Delgado, 2003). Devido ao seu reduzido peso, são facilmente transportáveis aos locais de interesse. Estes sensores medem a energia emitida ou reflectida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético. Podem ser passivos (utilizam a luz natural) ou activos (possuem fonte de luz própria), sendo que estes últimos dispensam calibração, podendo trabalhar em qualquer condição de luz, inclusivamente à noite. O potencial desta técnica prende-se com o facto de diferentes objectos originarem respostas (assinaturas espectrais) diferentes, que podem ser mais ou menos características e, por isso, identificativas

(Brase, 2005). Segundo Numata *et al.* (2008), aspectos como as espécies botânicas presentes, a densidade, a altura, o teor de humidade, a percentagem de matéria verde, o estado vegetativo ou mesmo o estado nutricional de uma cultura podem traduzir-se em diferentes resultados na medição pelos sensores ópticos.

Normalmente os resultados espectrais não são apresentados em termos de radiação emitida pela superfície, tal como é medido pelo sensor, sendo transformados em índices de vegetação (Qi *et al.*, 1994). Por exemplo, o NDVI é o índice de vegetação mais conhecido e utilizado, relacionando-se com a quantidade de vegetação fotossinteticamente activa, ou seja, com o vigor vegetativo das plantas (Morgan e Ess, 1997; Broge e Leblanc, 2000; Gitelson, 2004). O cálculo deste índice baseia-se na medição da resposta espectral em duas bandas: do infravermelho próximo (NIR, *near-infrared*, correspondente a um comprimento de onda de 775 nm) e do vermelho (RED, correspondente a um comprimento de onda de 670 nm) (equação 1).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (1)$$

Ao nível das culturas foram publicados resultados promissores pela utilização de sensores ópticos, por exemplo, na medição do stress hídrico em cereais (Laliberte *et al.*, 2010) ou na identificação de zonas com infestantes (Adamchuk *et al.*, 2004). Nestas duas aplicações em concreto, estes aspectos podem ser relevantes no apoio à tomada de decisão relativa à gestão da rega ou da aplicação de herbicidas, respectivamente. Uma outra aplicação prática muito comum encontra-se relacionada com a identificação em cereais de deficiências de azoto, com o aparecimento de coloração amarelada nas folhas, sendo a base do sistema "N-sensor" que assegura a aplicação diferenciada de fertilizante azotado (Povh *et al.*, 2008).

Apesar de alguns trabalhos realizados na Austrália ou na Nova Zelândia (Trotter *et al.*, 2012), não se encontram publicados trabalhos de investigação com o propósito de aplicar sensores ópticos à monitorização de pastagens Mediterrânicas, pelo que os objectivos deste estudo consistiram na avaliação da capacidade do sensor óptico activo "OptRx®" para, através da medição do índice de vegetação NDVI: (i) monitorizar a evolução do padrão espacial e temporal do estado vegetativo de uma pastagem Mediterrânica; (ii) identificar diferentes

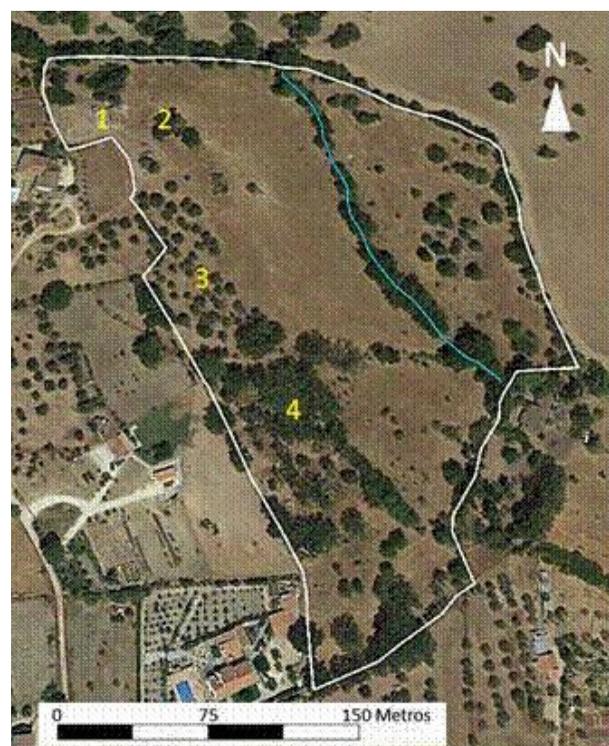
famílias botânicas (gramíneas/leguminosas) e respectiva produtividade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Locais de estudo

A parcela principal em estudo (Figura 1), com cerca de 7 ha, encontra-se na Quinta da Silveira, concelho de Évora (coordenadas geográficas 38°62,2'N; 7°94,8'W). Esta parcela ocupa uma zona com pequeno declive, com uma amplitude de cotas entre 273 e 282 m, apresenta coberto arbóreo (oliveiras, azinheiras, freixos e amoreiras) e é atravessada por uma linha de água torrencial. Trata-se de uma pastagem natural dominada por gramíneas, não tendo sido sujeita a pastoreio animal em 2014 e 2015, apresentando, por isso, bastante restolho seco.

Foram realizados ensaios complementares em pastagens semeadas na Herdade da Mitra (coordenadas 38°32,2'N e 8°01,1'W), biodiversas (de gramíneas e leguminosas), tendo como objectivos específicos a avaliação da consistência do sensor de vegetação e da resposta deste perante diferentes famílias botânicas e diferentes produtividades.



**Figura 1** - Fotografia aérea da parcela da Quinta da Silveira (1-ovvil; 2-amoreira; 3-zona de oliveiras; 4- zona de sobreiros).

### Caracterização climática

A Figura 2 ilustra os diagramas termo-pluviométricos da estação meteorológica de Évora, no trinténio 1951-1980 e no ano agrícola de 2014/2015 (neste caso apenas entre Setembro de 2014 e Maio de 2015, dados com efeito sobre a produtividade da pastagem do ano agrícola em causa).

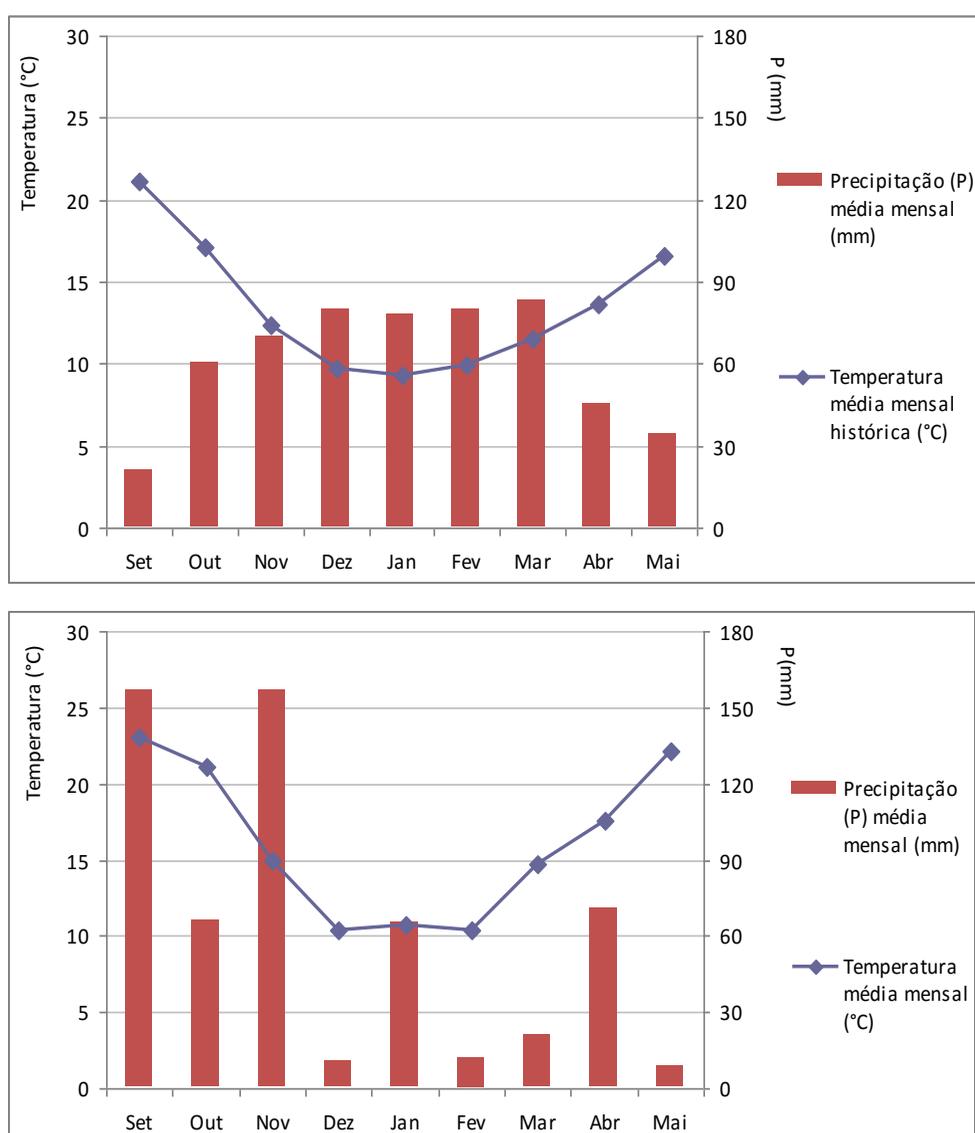
A comparação dos dois diagramas da Figura 2 mostra diferenças muito significativas entre o ano agrícola 2014-2015 e a média histórica em termos de temperatura e precipitação média mensal. Assim, no que respeita à temperatura, enquanto a Primavera de 2014-2015 apresentou valores da ordem dos 14, 17 e 23°C, respectivamente em Março, Abril e Maio, a média histórica no período considerado

apresentou valores da ordem dos 12, 14 e 17°C, respectivamente. Relativamente à precipitação acumulada entre Janeiro e Maio, a média histórica apontava para cerca de 350 mm, sendo que em 2015 esta não chegou a metade deste valor. A conjugação da menor quantidade de precipitação com a ocorrência de temperaturas mais altas transforma 2015 num ano atípico, com influência directa no ciclo vegetativo das pastagens de sequeiro no Alentejo.

### Equipamentos utilizados

Foram utilizados nos ensaios realizados os seguintes equipamentos:

- Sensor óptico activo "OptRx®" (Ag Leader, 2202



**Figura 2** - Diagramas termo-pluviométricos para a estação meteorológica de Évora entre Setembro e Maio; em cima, dados médios dos anos 1951-1980; em baixo, dados do ano agrícola de 2014-2015.



**Figura 3** - Sensor óptico (“OptRx®”), receptor GPS (“Trimble”) e bateria portátil, utilizados nos ensaios de campo.

South River Side Drive Ames, IOWA 50010, USA) e respectiva fonte de energia (pequena bateria portátil) (Figura 3);

- Receptor Trimble GNSS, GeoExplorer da série 6000, modelo 88951, com precisão sub-métrica (GmbH, Am Prime Parc 11, 65479 Raunheim, Germany) (Figura 3);

- Material para caracterização, corte e recolha da pastagem (régua metálica graduada em centímetros; aro metálico de 0,1 m<sup>2</sup>; máquina de cortar relva portátil; sacos de plástico identificados com o código do ponto de amostragem).

#### **Metodologia dos ensaios na Quinta da Silveira**

Na parcela de ensaio da Quinta da Silveira foram identificados com estaca de madeira 47 pontos de amostragem, previamente geo-referenciados com o receptor GNSS Trimble, constituindo uma quadrícula com 34 m de aresta (Figura 4). Nesta parcela procurou-se monitorizar a evolução da pastagem durante o período do pico de produção primaveril, tendo sido realizados quatro ensaios entre meados de Março e final de Maio (16/03, 14/04, 30/04 e 21/05). Para este efeito, acompanhou-se a evolução da pastagem percorrendo, em cada data de ensaio, os 47 pontos de amostragem com o sensor óptico activo “OptRx®” associado ao receptor Trimble GNSS e uma bateria portátil. O sensor, colocado a cerca de 0,75m de altura do solo (cerca de 0,50 m acima da pastagem, considerando um valor médio de altura da pastagem de 0,25 m), registou o NDVI durante dois minutos em cada ponto geo-referenciado. O

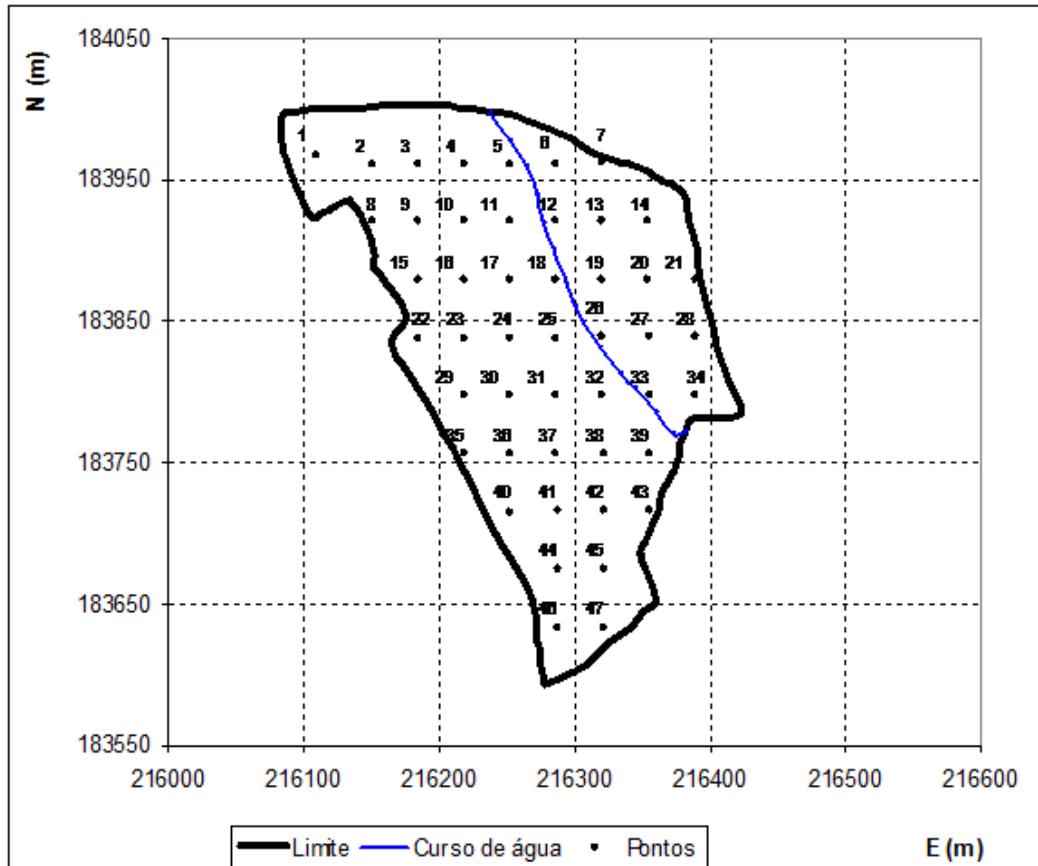
operador, em passo lento, realizou com o sensor um círculo com um raio de 3m em relação à marca central de cada ponto geo-referenciado e imobilizou-se o restante período de tempo (dos dois minutos) no local dentro dessa área circular previamente identificada como representativa da pastagem.

No último ensaio realizado na Quinta da Silveira (21/05), à medida que o operador do sensor se deslocava para o ponto seguinte, uma equipa de dois operadores procedia ao corte e recolha do material vegetal contido num aro metálico com 0,1 m<sup>2</sup> de área. A pastagem recolhida foi transportada em sacos de plástico para o Laboratório de Pastagens e Tecnologia de Forragens da Universidade de Évora, onde se procedeu à pesagem, desidratação (durante 72 h a 65°C) e nova pesagem para determinação da produtividade da pastagem em termos de matéria verde (kg MV/ha) e de matéria seca (kg MS/ha) de acordo com protocolo standard (Serrano *et al.*, 2009).

O índice NDVI e as determinações relativas à produtividade da pastagem foram organizados em ficheiro Excel, associados às coordenadas rectangulares dos respectivos pontos de amostragem.

#### **Metodologia dos ensaios na Herdade da Mitra**

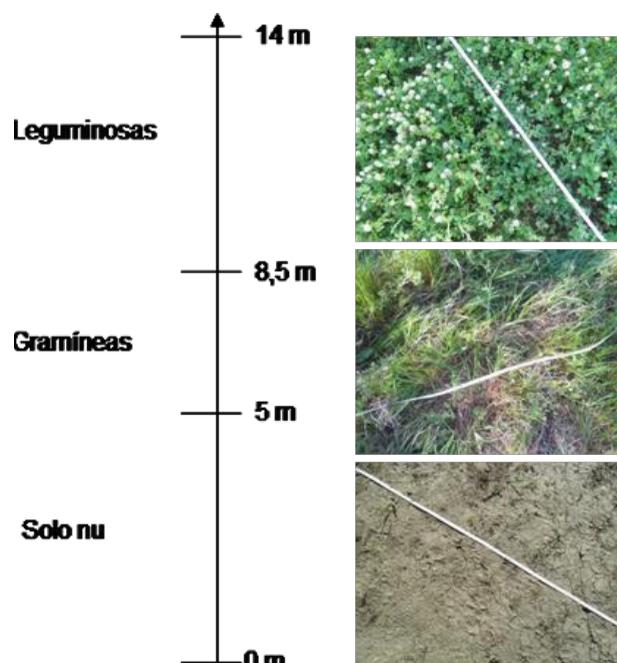
Atendendo a que a parcela de pastagem da Quinta da Silveira apresentava características muito particulares por não se encontrar sob pastoreio animal regular, foram desenvolvidos na Herdade da Mitra três ensaios complementares. Estes incidiram em pastagens pastoreadas, semeadas, biodiversas



**Figura 4 -** Representação dos 47 pontos de amostragem na Quinta da Silveira.

(gramíneas e leguminosas), na fase de grande desenvolvimento vegetativo, em plena floração (início de Abril de 2015). O protocolo específico destes ensaios visou, por um lado, avaliar a consistência do sensor de vegetação e, por outro, a resposta do sensor perante diferentes famílias botânicas e diferentes produtividades. Em cada um destes ensaios foram estabelecidos percursos a realizar pelo operador com o sensor “OptRx®” a uma altura ao solo de 0,75m.

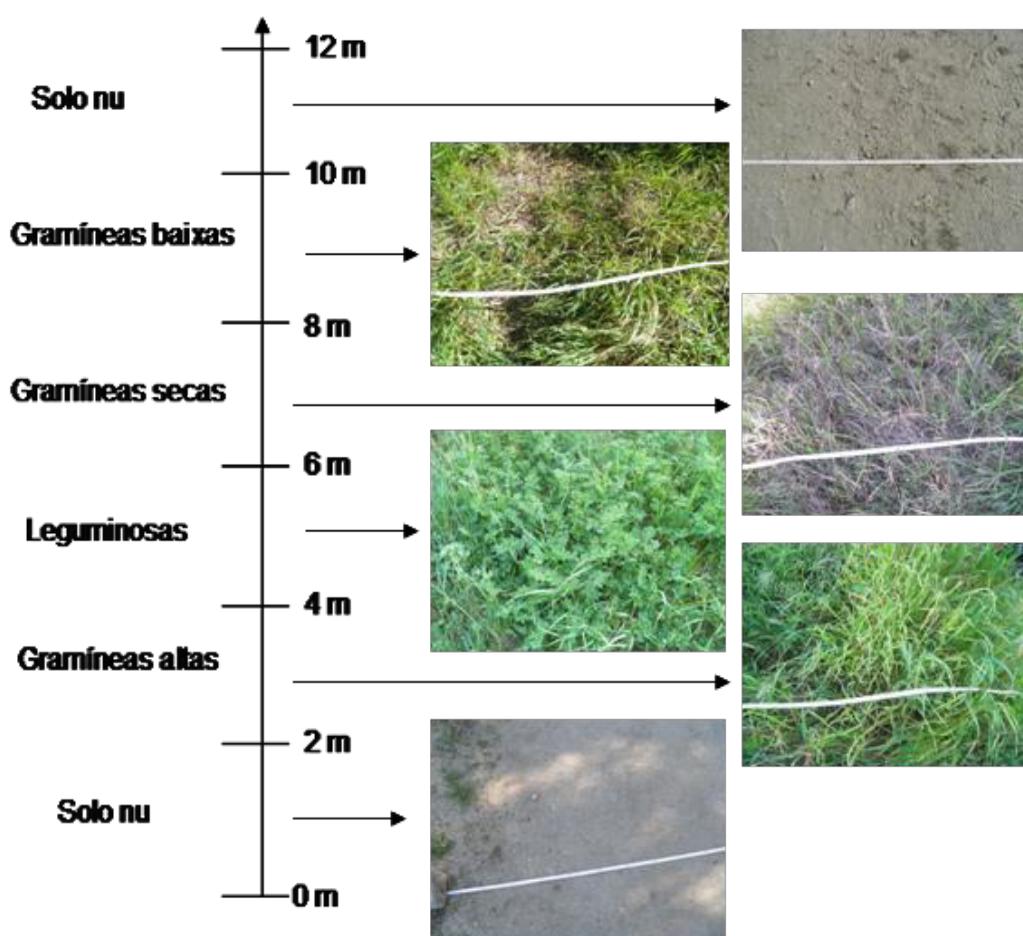
Na Figura 5 apresenta-se o diagrama do ensaio complementar 1 (constituído por três zonas: solo nu; gramíneas; leguminosas), no qual se procurou avaliar a consistência do sensor “OptRx®” para identificar diferentes famílias botânicas (leguminosas/gramíneas). Foram realizadas cinco repetições do percurso. Procedeu-se de seguida, em cada uma das duas zonas de pastagem, ao corte do material vegetal (correspondente a 0,1 m<sup>2</sup>) para determinação directa da produtividade.



**Figura 5 -** Diagrama do ensaio complementar 1 realizado na Herdade da Mitra em Abril de 2015 (são indicadas as distâncias percorridas pelo sensor em cada uma das coberturas da superfície do solo).

Na Figura 6 apresenta-se o diagrama do ensaio complementar 2 (constituído por seis zonas: solo nu; gramíneas altas; leguminosas; gramíneas secas; gramíneas baixas; solo nu), o qual teve como objectivos avaliar a consistência do sensor "OptRx®" para identificar diferentes famílias botânicas (leguminosas/gramíneas) e, dentro das gramíneas, identificar diferentes características (altura ou estado de desenvolvimento vegetativo). Foram realizadas cinco repetições do percurso. Procedeu-se de seguida, em cada uma das quatro zonas de pastagem, ao corte do material vegetal (correspondente a 0,1 m<sup>2</sup>) para determinação directa da produtividade.

produtividade diferenciada. Foram realizadas três repetições do percurso. Procedeu-se de seguida, em cada uma das duas zonas de ervas verdes (leguminosas e gramíneas), à identificação de três locais de amostragem com pastagem baixa e três locais de amostragem com pastagem alta (Figura 7): zona "y" de gramínea baixa; zona "x" de gramínea alta; zona "z" de leguminosas baixa e zona "w" de leguminosa alta. Em cada um destes seis locais mediou-se o NDVI e procedeu-se ao corte do material vegetal (correspondente a 0,1 m<sup>2</sup>) para determinação directa da produtividade.

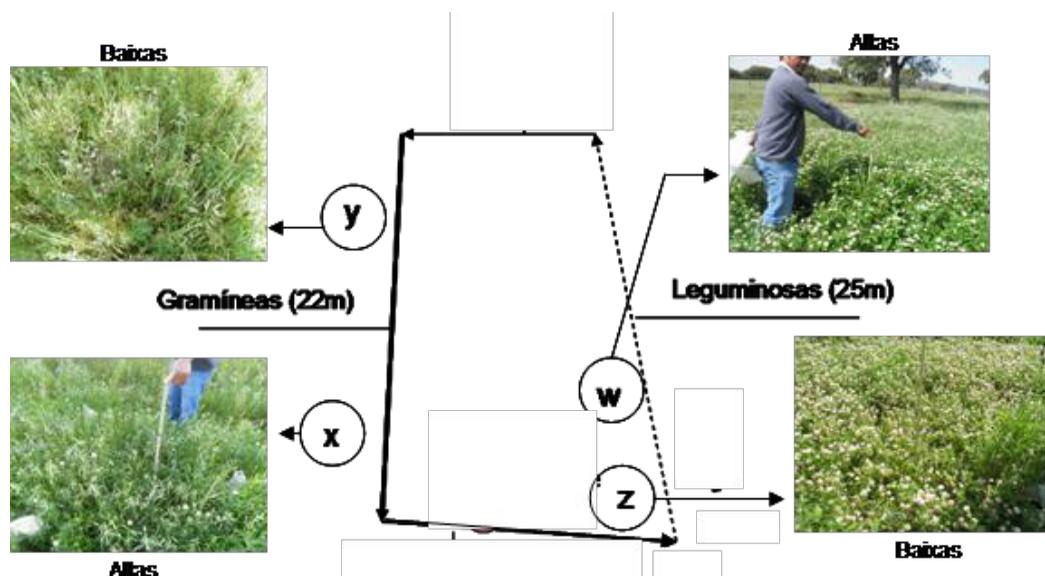


**Figura 6** - Diagrama do ensaio complementar 2 realizado na Herdade da Mitra em Abril de 2015 (são indicadas as distâncias percorridas pelo sensor em cada uma das coberturas da superfície do solo).

O percurso do sensor no ensaio complementar 3 foi constituído por três zonas: leguminosas; gramíneas e ervas secas, intercaladas com uma árvore. Procurou-se neste ensaio avaliar a consistência do sensor "OptRx®" para identificar diferentes famílias botânicas (gramíneas/leguminosas) e, dentro de cada uma destas, identificar zonas de

#### *Tratamento estatístico dos dados*

Os dados obtidos no campo (NDVI e produtividade da pastagem) foram sujeitos a análise estatística descritiva (cálculo da média, intervalo de variação, desvio padrão e coeficiente de variação). Procedeu-se também ao estabelecimento de correlações



**Figura 7** - Pormenor do ensaio complementar 3: identificação dos locais de recolha de amostras com diferentes produtividades.

entre parâmetros com um nível de significância estatística de 95% ( $p < 0,05$ ).

Os dados do NDVI e da produtividade da pastagem foram tratados no software ArcGIS 10.2 (ESRI, Redlands, CA) para elaboração dos mapas respectivos. Utilizou-se o processo de interpolação por "krigagem" com um "lag size" de 15 m.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Índice de vegetação - NDVI

Os índices de vegetação são indicadores da condição em que se encontra a vegetação de uma determinada parcela: valores de NDVI próximos da unidade significam maior cobertura do solo com vegetação fotossinteticamente activa; no extremo contrário, valores de NDVI próximos de zero correspondem a zonas de solo descoberto (Dusseux *et al.*, 2015). A análise estatística descritiva (Quadro

1) permite fazer uma primeira abordagem à variabilidade espacial e temporal da pastagem da parcela da Quinta da Silveira. No conjunto das datas de medição, os valores do NDVI para os 47 pontos amostrados apresentam bastante consistência em termos de intervalo de variação, média ou coeficiente de variação (CV). Este oscilou entre 13 e 16% no conjunto das quatro datas de ensaio.

Os mapas da Figura 8 mostram a variabilidade espacial do índice NDVI e a sua evolução entre Março e Maio de 2015. Em termos médios (ver quadro 1), o valor do NDVI aumentou progressivamente entre meados de Março e final de Abril ( $NDVI_{méd} = 0,521 \pm 0,073$  em 16/03;  $NDVI_{méd} = 0,569 \pm 0,074$  em 14/04 e  $NDVI_{méd} = 0,586 \pm 0,080$  em 30/04), tendo diminuído significativamente em 21/05 ( $NDVI_{méd} = 0,468 \pm 0,073$ ). A evolução positiva deste índice no início da Primavera reflecte a evolução das condições meteorológicas na região (ver Figura 2), com as temperaturas médias a chegarem aos 15-20°C e com a ocorrência de valores de precipitação mensal

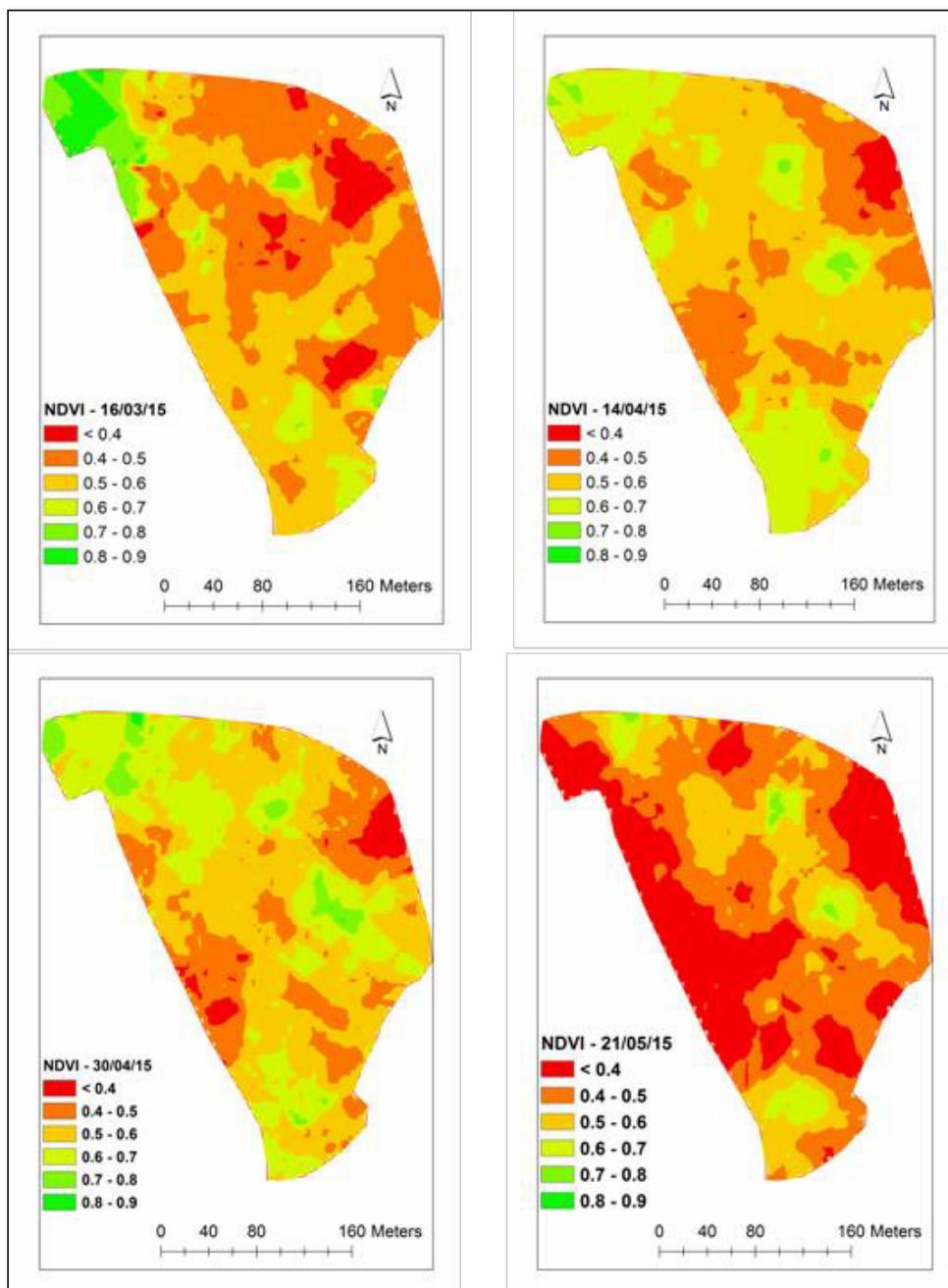
**Quadro 1** - Estatística descritiva do NDVI em diferentes datas, no conjunto dos 47 pontos de amostragem da pastagem da Quinta da Silveira

Datas (2015)	16/03	14/04	30/04	21/05
Mínimo	0,329	0,344	0,391	0,310
Máximo	0,814	0,786	0,795	0,759
Média	0,521	0,569	0,586	0,468
Desvio Padrão	0,073	0,074	0,080	0,073
CV (%)	14,0	13,0	13,6	15,6

CV- Coeficiente de variação;

da ordem dos 70 mm. A conjugação destas condições proporcionou o crescimento acelerado da pastagem, após um período de Inverno de temperaturas baixas, inibidoras do crescimento vegetativo. É também particularmente evidente a diminuição dos valores de NDVI da pastagem na amostragem realizada em 21/05, depois de uma sucessão de dias onde se verificaram temperaturas anormalmente altas para a época do ano, as quais, conjugadas com a ausência de precipitação, aceleraram o ciclo vegetativo das plantas de sequeiro, com o aparecimento de muitas zonas com vegetação seca. Este

padrão, fortemente dependente da conjugação do binómio temperatura/precipitação é característico de pastagens Mediterrânicas de sequeiro (Marques da Silva *et al.*, 2008). Também Kumhálová *et al.*, (2011) confirmaram que a disponibilidade de água é um dos factores fundamentais na produtividade das pastagens, sobretudo em anos secos. A cobertura do solo com vegetação seca mantém-se até ao início das primeiras chuvas, normalmente entre Setembro e Outubro, altura em que se reinicia um novo ciclo de crescimento.



**Figura 8** - Mapas dos índices de vegetação (NDVI) da pastagem na Quinta da Silveira, entre Março e Maio de 2015.

### Produtividade da pastagem

No Quadro 2 são apresentados os resultados da estatística descritiva referente à avaliação da produtividade (em termos de matéria verde e de matéria seca, em kg/ha) e da percentagem de matéria seca da pastagem da Quinta da Silveira em 21 de Maio de 2015. Ao contrário dos índices de vegetação, a produtividade da pastagem apresentou valores de CV da ordem dos 50% (no caso da MS) a 70% (na MV), o que evidencia a extraordinária heterogeneidade da parcela, nomeadamente em termos de condições de drenagem do solo, com reflexo no ciclo vegetativo das plantas. Uma extensa zona de vale manteve-se encharcada durante todo o Inverno e parte da Primavera. Por outro lado, a inexistência de pastoreio animal no ano de 2014 levou à acumulação de ervas secas do ano anterior em toda esta zona de baixa, pelo que, esta pastagem apresenta valores médios de produtividade relativamente baixos (inferiores a 2000 kg de MS/ha) e que refletem um manejo desadequado do pastoreio animal, associado a condições edafo-climáticas Mediterrânicas, com solos pobres e distribuição irregular da precipitação (Efe Serrano, 2006). Há ainda a referenciar uma extensa área de pastagem pouco produtiva situada sob coberto arbóreo muito denso, onde o ensombramento promove principalmente o desenvolvimento de vegetação arbustiva.

Na Figura 9 são apresentados os mapas que evidenciam os padrões espaciais da produtividade da pastagem (em termos de matéria verde e de matéria seca) e da percentagem de matéria seca em 21/05. As percentagens mais baixas de matéria seca da pastagem (inferiores a 30%) verificam-se nos extremos opostos da parcela (Noroeste e Sudeste),

**Quadro 2** - Estatística descritiva da produtividade da pastagem em termos de matéria verde (kg/ha) e de matéria seca (em kg/ha e em %) em 21 de Maio de 2015, no conjunto dos 47 pontos de amostragem da Quinta da Silveira

Parâmetro	MV (kg/ha)	MS (kg/ha)	MS (%)
Mínimo	0	0	10,8
Máximo	22330	4450	56,2
Média	6373	1916	33,1
Desvio Padrão	4360	922	8,7
CV (%)	68,4	48,1	24,2

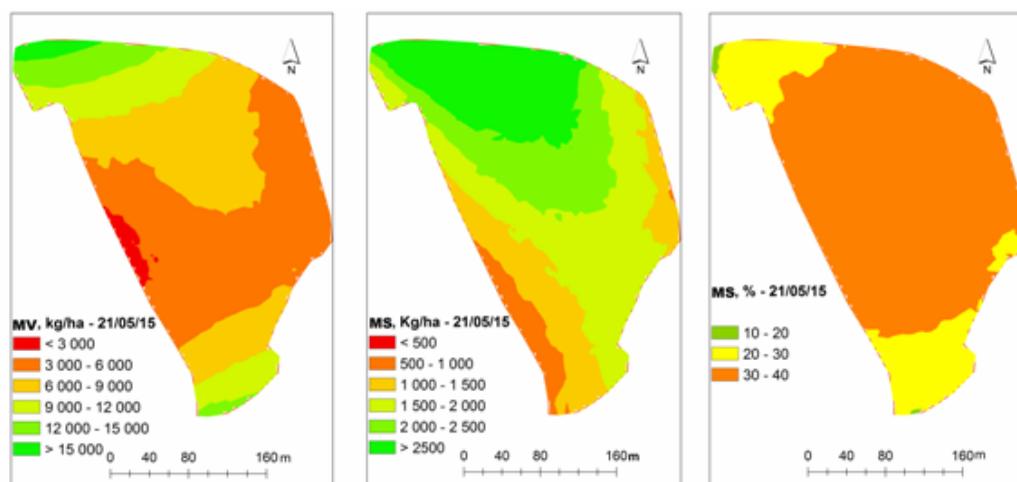
CV- Coeficiente de variação; MV- Matéria verde; MS- Matéria seca;

correspondendo-lhe também maior produtividade da pastagem.

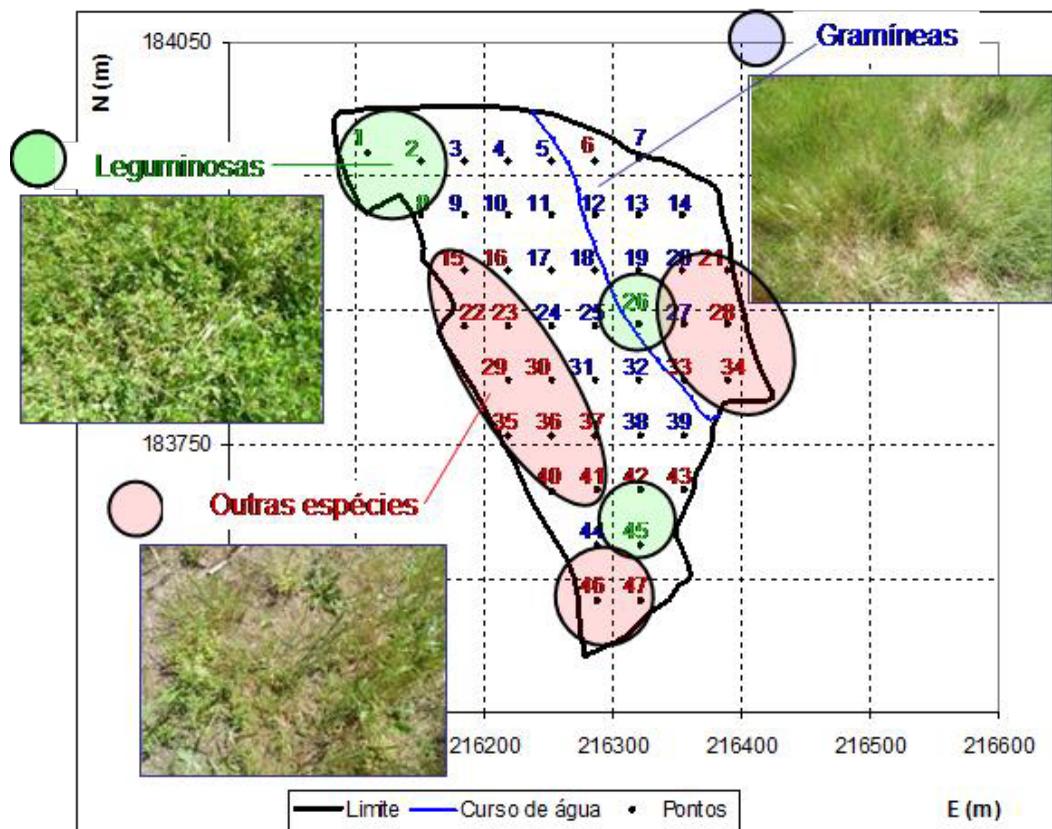
Em resumo, a avaliação da pastagem da Quinta da Silveira mostra essencialmente três zonas (Figura 10; Quadro 3):

I) Algumas bolsas de leguminosas (principalmente *Trifolium subterraneum*) representam apenas cerca de 10% da área da parcela (5 das 47 quadrículas de amostragem); em zonas de sombra, bem drenadas, com maior produtividade em verde e menor percentagem de matéria seca, correspondendo-lhe índices de vegetação elevados ( $NDVI_{méd} = 0,563 \pm 0,176$ );

II) Predominância de gramíneas (principalmente *Lolium rigidum*) em cerca de metade da área da parcela (22 das 47 quadrículas), na zona mais plana e com tendência para encharcamento durante o Inverno, com restolho seco do ano anterior a condicionar o desenvolvimento vegetativo; valores intermédios de índices de vegetação ( $NDVI_{méd} = 0,490 \pm 0,095$ );



**Figura 9** - Mapas da produtividade da pastagem, em termos de kg de matéria verde (MV)/ha e de kg de matéria seca (MS)/ha e da percentagem de MS, na Quinta da Silveira em 21 de Maio de 2015.



**Figura 10** - Zonas tipo de desenvolvimento da pastagem na Quinta da Silveira em Maio de 2015.

III) Zona sub arbórea que ocupa cerca de 40% da área da parcela (20 das 47 quadrículas), com reduzida exposição solar, onde predominam outras espécies botânicas (principalmente *Anagalis arvensis*), rasteiras e de baixa produtividade (grande parte inferior a 1000 kg de MS/ha); a fraca cobertura vegetal origina baixos índices de vegetação (NDVI<sub>méd</sub> = 0,421±0,086).

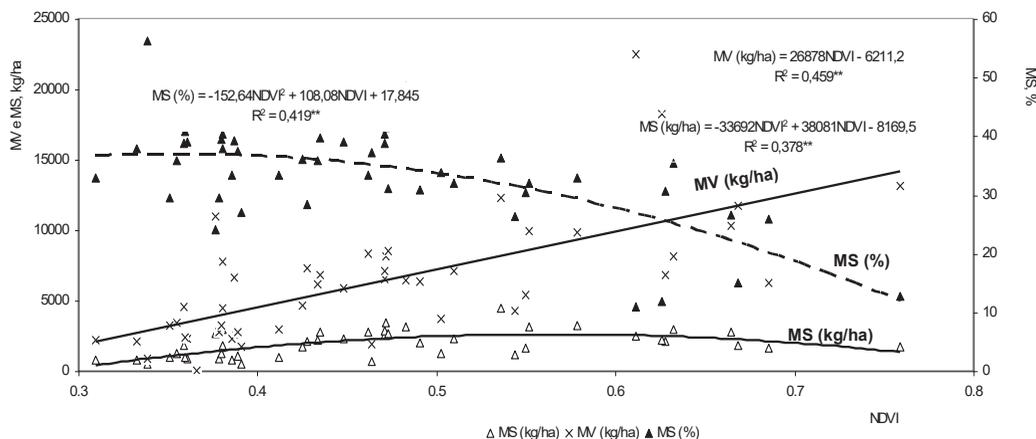
Apesar desta pastagem apresentar um ecossistema com elevado potencial resultante da disponibilidade de água e da cobertura arbórea, o seu estado actual justificava intervenção no sentido de repor o equilíbrio biodiverso, o que poderia passar por correcções ao nível do sistema de drenagem do solo, pela fertilização fosfatada, pela ressemeiteira diferenciada de leguminosas e pelo restabelecimento do pastoreio regular.

*Correlação entre o NDVI e a produtividade da pastagem*

O interesse em avaliar ferramentas expeditas que facilitem a monitorização da pastagem é um desafio que diversas equipas de investigação têm levado a cabo em todo o mundo (King *et al.*, 2010; Trotter, 2010; Donald *et al.*, 2013). O índice NDVI, obtido pelos sensores ópticos, atendendo à capacidade de trabalho e à facilidade de utilização deste tipo de sensores próximos, poderá representar uma alternativa aos sistemas de avaliação da variabilidade das pastagens (Trotter *et al.*, 2012). Os resultados obtidos no conjunto dos 47 pontos de amostragem da parcela da Quinta da Silveira em 21 de Maio de 2015 permitiram estabelecer correlações entre o NDVI e a produtividade da pastagem.

**Quadro 3** - Características das diferentes zonas da pastagem da Quinta da Silveira em Maio de 2015

Zona (número de amostras)	MV (kg/ha)	MS (kg/ha)	MS (%)
I) Leguminosas (n=5)	12098±6380	2248±583	22,2±11,0
II) Gramíneas (n=22)	7235±2467	2439±806	34,6±6,6
III) Outras espécies (n=20)	3995±3911	1225±652	34,2±8,6



**Figura 11** - Correlação entre o NDVI e a produtividade da pastagem (em termos de matéria verde, MV e de matéria seca, MS por unidade de área) e entre o NDVI e a percentagem de matéria seca da pastagem

A Figura 11 ilustra a correlação entre o NDVI e a produtividade da pastagem (kg MV/ha e kg MS/ha) e entre o NDVI e a percentagem de matéria seca da pastagem. Os coeficientes de determinação obtidos nas equações lineares ("R<sup>2</sup>", da ordem dos 0,5) indicam que este sensor de vegetação dá resposta aceitável na caracterização da produtividade da pastagem. Zonas com maior produção de matéria verde apresentam valores mais elevados de NDVI, o que reflecte o princípio de funcionamento do sensor. Apesar de significativa, a correlação do NDVI com a produtividade da pastagem em termos de MS é mais fraca do que a obtida entre o NDVI e a MV, o que deverá traduzir a heterogeneidade do estado vegetativo das plantas (em função da espécie botânica) e a conseqüente percentagem de matéria seca, podendo reflectir também a já referida interferência do material vegetal senescente que permaneceu na pastagem em virtude da ausência de pastoreio animal, aspecto também referido por Barnes *et al.* (2010) e Trotter *et al.* (2012). Como seria de esperar, verifica-se uma tendência

para valores mais altos de NDVI em plantas com teores mais baixos de matéria seca.

#### Ensaio complementar 1

O Quadro 4 apresenta o valor médio das principais características das duas zonas de pastagem consideradas no ensaio complementar 1 (gramíneas e leguminosas). A zona coberta por leguminosas (espécie predominante: *Trifolium resupinatum*) apresenta claramente maior produtividade em verde e menor percentagem de matéria seca do que a zona de gramíneas (espécie predominante: *Holcus lanatus*), iniciando um estado menos avançado de desenvolvimento vegetativo, a que corresponderam valores mais elevados de NDVI.

O Quadro 5 resume os valores do NDVI medidos em cinco repetições, nas três zonas consideradas no ensaio complementar 1 (solo nu, gramíneas e leguminosas). É evidente a estabilidade dos valores de NDVI no conjunto das repetições realizadas, em qualquer das zonas consideradas (0,14-0,16 para

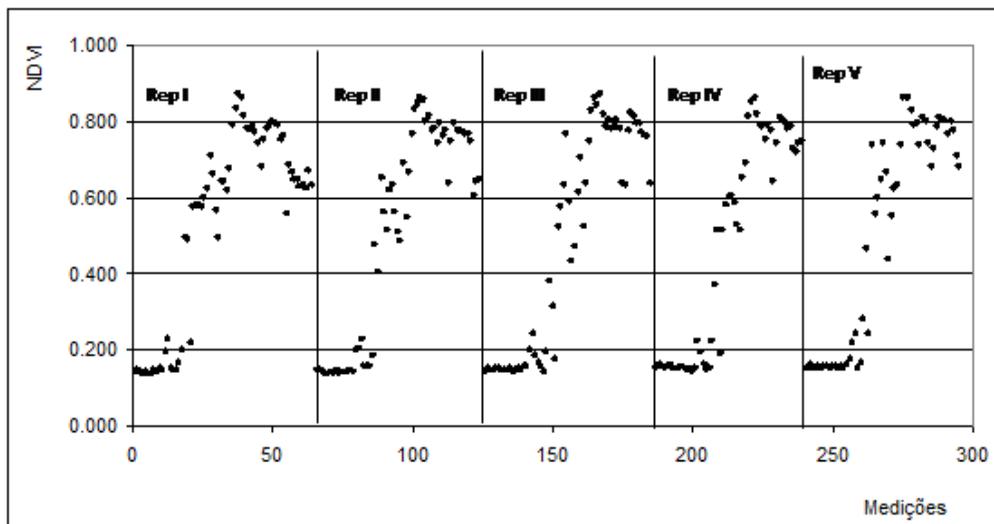
**Quadro 4** - Valor médio das principais características das duas zonas de pastagem consideradas no ensaio complementar 1

Família botânica (altura)	MV (kg/ha)	MS (kg/ha)	MS (%)
Gramíneas (20 cm)	9700	2803	28,9
Leguminosas (30 cm)	18700	2599	13,9

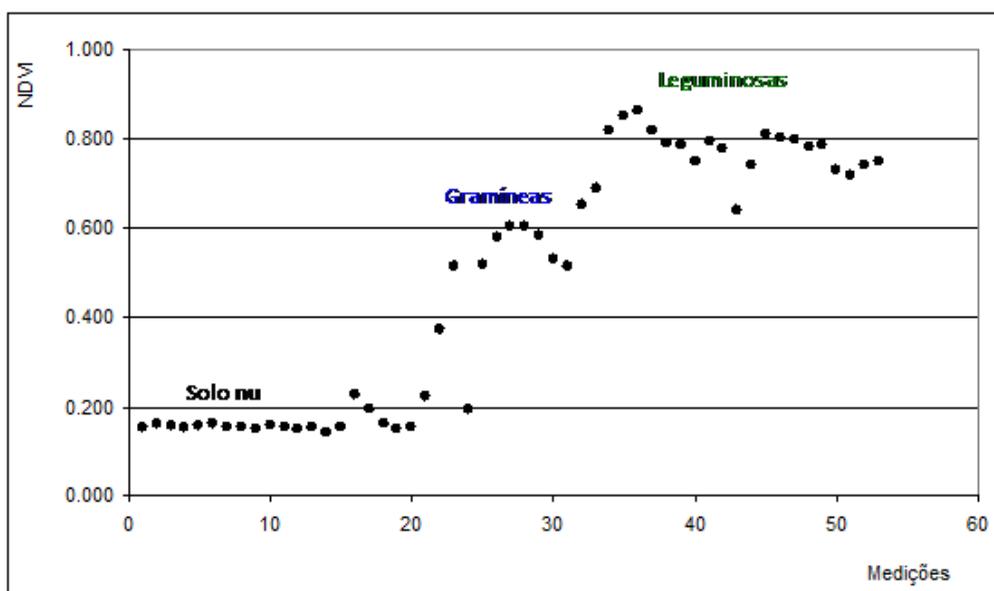
MV- Matéria verde; MS- Matéria seca

**Quadro 5** - Valores do NDVI medidos em cinco repetições, nas três zonas consideradas no ensaio complementar 1

Repetição	I	II	III	IV	V
Solo nu	0,154±0,023	0,143±0,003	0,161±0,024	0,160±0,018	0,157±0,006
Gramíneas (20 cm)	0,611±0,054	0,585±0,070	0,589±0,099	0,586±0,060	0,631±0,092
Leguminosas (30 cm)	0,786±0,042	0,783±0,048	0,788±0,059	0,777±0,050	0,788±0,049



**Figura 12** - Valores do NDVI medidos nas cinco repetições realizadas no percurso do ensaio complementar 1.



**Figura 13** - Valores do NDVI medido numa das repetições realizadas no percurso do ensaio complementar 1: identificação dos três patamares correspondentes a solo nu, gramíneas e leguminosas.

solo nu; 0,59-0,63 no caso da gramínea e 0,78-0,79 no caso da leguminosa), o que demonstra a consistência do sensor na identificação de diferentes famílias botânicas. A Figura 12 ilustra esta mesma consistência entre repetições na medição do NDVI. A Figura 13 mostra o pormenor de uma das repetições, sendo evidente a transição entre zonas do campo com diferente cobertura vegetal.

#### Ensaio complementar 2

O Quadro 6 apresenta o valor médio das principais características das quatro zonas de pastagem

consideradas no ensaio complementar 2 (gramíneas altas, leguminosas, gramíneas secas e gramíneas baixas). Os valores mais elevados de NDVI foram obtidos no caso da leguminosa (espécies predominantes: *Medicago polymorpha* e *Medicago rugosa*) e da gramínea (espécies predominantes: *Avena sterilis* e *Hordeum murinum*), alta e verde; zonas de maior produtividade em verde (MV) e de menor percentagem de matéria seca (< 20%). Os valores mais baixos de NDVI foram obtidos na zona de gramínea seca, com menor produtividade. A gramínea baixa apresentou valores intermédios de NDVI.

**Quadro 6** - Valores médios das principais características das quatro zonas de pastagem consideradas no ensaio complementar 2 (gramíneas altas, leguminosas, gramíneas secas e gramíneas baixas)

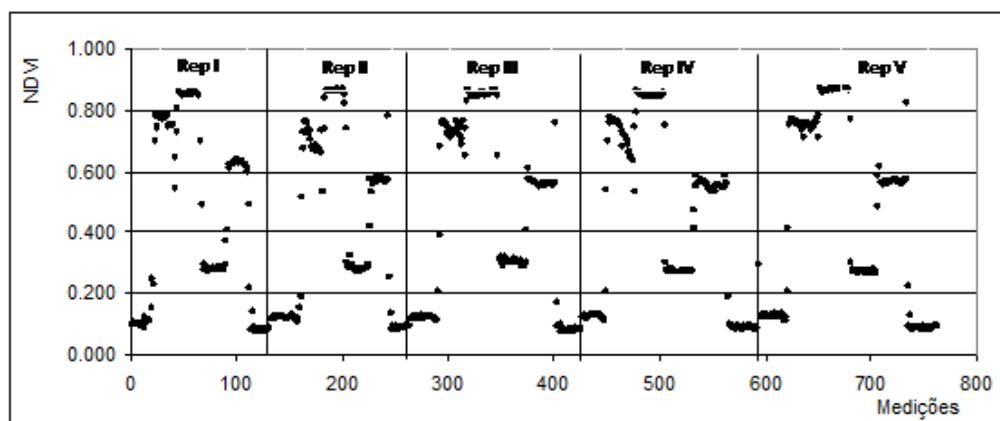
Espécie	MV (kg/ha)	MS (kg/ha)	MS (%)	NDVI
Gramínea alta (50 cm)	17900	3401	19,0	0,741±0.023
Leguminosa densa (25 cm)	20100	1602	12,9	0,857±0.008
Gramínea seca (10 cm)	3900	1275	32,7	0,282±0.012
Gramínea baixa (15 cm)	4900	1509	30,8	0,576±0.030

**Quadro 7** - Valores do NDVI medidos em cinco repetições, nas seis zonas consideradas no ensaio complementar 2 (duas de solo nu, uma de leguminosas e três de gramíneas)

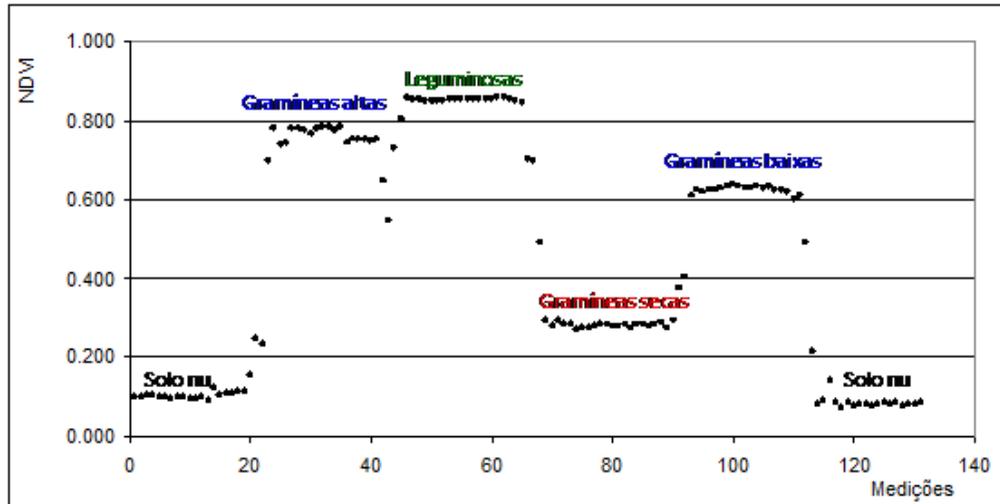
Repetição	I	II	III	IV	V
Solo nu	0,104±0,008	0,122±0,005	0,122±0,004	0,126±0,006	0,126±0,005
Gramínea alta (50 cm)	0,765±0,016	0,704±0,037	0,740±0,017	0,744±0,027	0,751±0,014
Leguminosa densa (25 cm)	0,852±0,004	0,863±0,007	0,851±0,008	0,850±0,005	0,867±0,004
Gramínea seca (10 cm)	0,282±0,006	0,280±0,007	0,303±0,007	0,275±0,004	0,272±0,003
Gramínea baixa (15 cm)	0,628±0,006	0,568±0,011	0,561±0,006	0,554±0,013	0,567±0,004
Solo nu	0,086±0,014	0,089±0,004	0,084±0,005	0,091±0,004	0,089±0,004

O Quadro 7 resume os valores do NDVI medidos em cinco repetições, nas seis zonas consideradas no ensaio complementar 2 (duas de solo nu e as quatro já referidas de pastagem). Também aqui é evidente a estabilidade dos valores de NDVI no conjunto das repetições realizadas, em qualquer das zonas consideradas (0,10-0,13 para solo nu inicial; 0,70-0,77 no caso da gramínea alta; 0,85-0,87 no caso da leguminosa; 0,27-0,30 no caso da

gramínea seca; 0,55-0,63 na gramínea baixa; e 0,09 no solo nu final), o que reforça a consistência do sensor na identificação de diferentes famílias botânicas e, no caso concreto, de diferentes alturas e estados de desenvolvimento vegetativo. A consistência das medições de NDVI é evidenciada na Figura 14. A Figura 15 mostra o pormenor de uma das repetições, sendo evidente a transição entre zonas do campo com diferente cobertura vegetal.



**Figura 14** - Valores do NDVI medido numa das repetições realizadas no percurso do ensaio complementar 1: identificação dos três patamares correspondentes a solo nu, gramíneas e leguminosas.



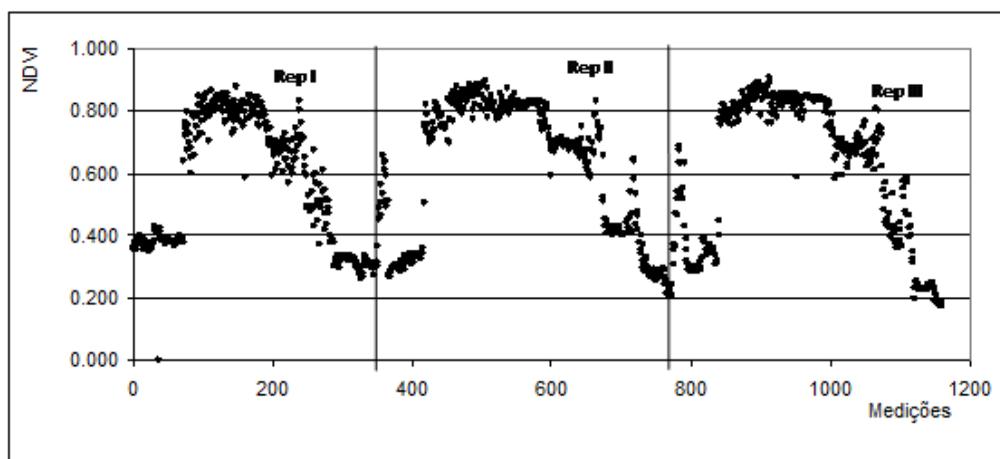
**Figura 15** - NDVI registado numa das repetições realizadas no percurso do ensaio complementar 2: identificação dos seis padrões correspondentes a solo nu (inicial e final), gramíneas (altas, baixas e secas) e leguminosas.

### Ensaio complementar 3

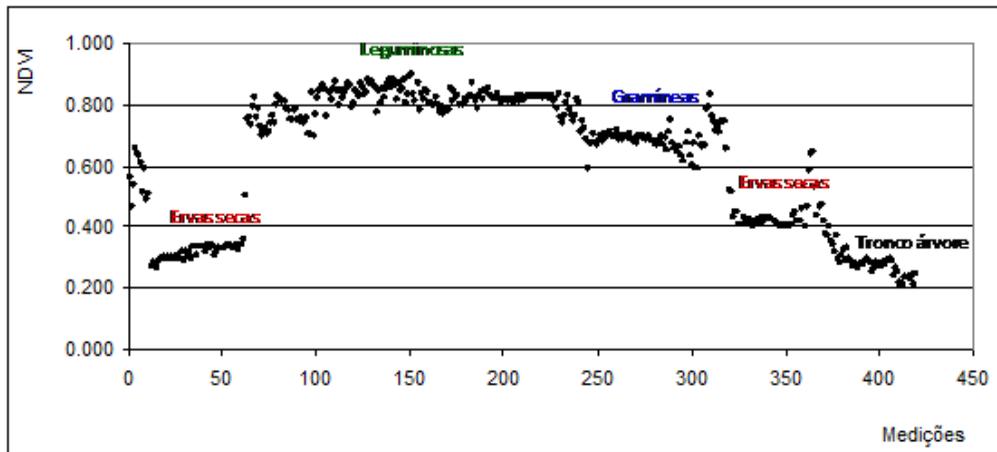
A Figura 16 ilustra a consistência das medições de NDVI realizadas em três repetições do circuito correspondente ao ensaio complementar 3. A Figura 17 mostra o pormenor de uma das repetições, sendo evidente a transição entre zonas do campo com diferente cobertura vegetal.

Na segunda parte do ensaio complementar 3 foram identificadas duas zonas de produtividade em cada espécie botânica: zonas “y” e “x” (ver Figura 7) no caso da gramínea (baixa e alta, respectivamente com 30 cm e 70 cm de altura; espécies predominantes: *Chamaemelum fuscatum* e *Avena sativa*) e zonas “z” e “w” (ver Figura 7) no caso da leguminosa (baixa e alta, respectivamente com 30

cm e 60 cm de altura; espécie predominante: *Trifolium michelianum*). Em cada uma destas quatro zonas procedeu-se à medição do NDVI com o sensor óptico imobilizado em três locais (repetições) e procedeu-se em todas elas à recolha da pastagem para determinação da MV e da MS. Os resultados são apresentados no Quadro 8. Os valores mais elevados de NDVI ocorreram sistematicamente na zona de leguminosa alta (zona de maior produtividade em termos de MV) e os valores mais baixos de NDVI ocorreram sistematicamente na zona das gramíneas baixas (zona de menor produtividade em termos de MV). As Figuras 18 e 19 ilustram a variação do NDVI (respectivamente para as gramíneas e para as leguminosas), nas três repetições realizadas em cada zona (erva baixa/erva alta).



**Figura 16** - NDVI registado nas três repetições realizadas no percurso do ensaio complementar 3.



**Figura 17** - NDVI registado numa das repetições realizadas no percurso do ensaio complementar 3: identificação dos quatro patamares correspondentes a ervas secas, leguminosas, gramíneas e tronco de árvore.

**Quadro 8** - Valores médios das principais características das quatro zonas de pastagem consideradas no ensaio complementar 3 (gramíneas baixas e altas, leguminosas baixas e altas)

Espécie (repetição)	MV (kg/ha)	MS (kg/ha)	MS (%)	NDVI
Gramínea baixa (I)	16100	2000	12,4	0,638±0,038
Gramínea baixa (II)	8300	1200	14,5	0,542±0,023
Gramínea baixa (III)	11300	1800	15,9	0,688±0,033
<b>“y”, Gramínea baixa, 30 cm (média)</b>	<b>11900±3934</b>	<b>1667±416</b>	<b>14,3±1,8</b>	<b>0,623±0,032</b>
Gramínea alta (I)	24300	4830	19,9	0,778±0,033
Gramínea alta (II)	28700	4470	15,6	0,832±0,023
Gramínea alta (III)	20900	3290	15,7	0,795±0,043
<b>“x”, Gramínea alta, 70 cm (média)</b>	<b>24633±3911</b>	<b>4197±806</b>	<b>17,1±2,4</b>	<b>0,802±0,033</b>
Leguminosa baixa (I)	46100	7610	16,5	0,737±0,025
Leguminosa baixa (II)	27700	4370	15,8	0,705±0,021
Leguminosa baixa (III)	33900	5590	16,5	0,746±0,027
<b>“z”, Leguminosa baixa, 30 cm (média)</b>	<b>35900±9362</b>	<b>5857±1636</b>	<b>16,3±0,4</b>	<b>0,729±0,024</b>
Leguminosa alta (I)	63500	7950	12,5	0,909±0,018
Leguminosa alta (II)	73500	9550	13,0	0,877±0,069
Leguminosa alta (III)	71900	8590	11,9	0,899±0,028
<b>“w”, Leguminosa alta, 60 cm (média)</b>	<b>69633±5372</b>	<b>8697±805</b>	<b>12,5±0,5</b>	<b>0,895±0,038</b>

Este conjunto de resultados evidencia a capacidade do sensor óptico activo “OptRx®” para detectar zonas de produtividade diferenciada dentro da mesma espécie botânica.

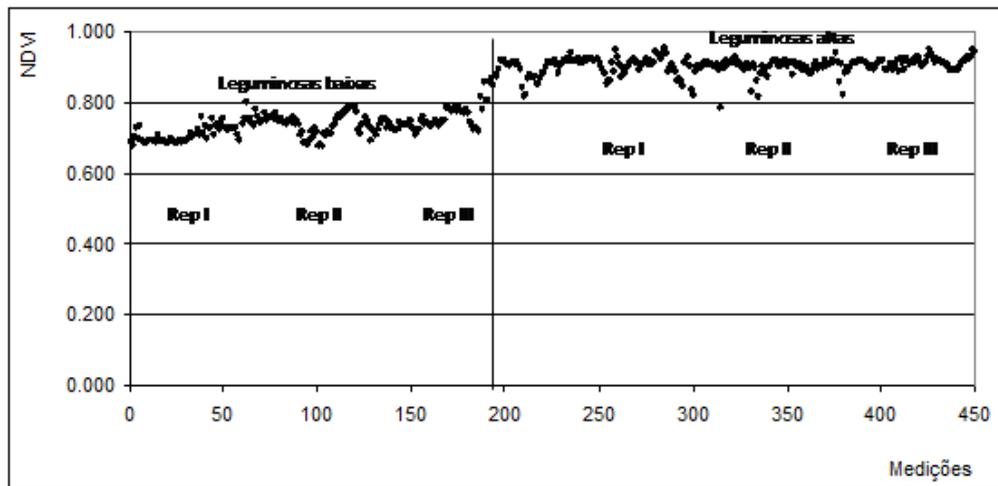
#### Dados agregados dos ensaios complementares

Os dados da pastagem dos três ensaios complementares realizados (duas amostras do ensaio 1, quatro amostras do ensaio 2 e doze amostras do ensaio 3) foram agrupados, tendo sido realizada análise de regressão entre as características da pastagem (MV, MS, em kg/ha e em %) e o NDVI (medido pelo sensor “OptRx®”). Na Figura 20 são

apresentadas as equações das melhores correlações obtidas. A correlação significativa obtida entre estes parâmetros ( $R^2 = 0.51$  no caso da MS e  $R^2 = 0.74$  no caso da MV) reforça os resultados obtidos nos ensaios realizados na Quinta da Silveira e justificam o interesse no desenvolvimento e extensão destes estudos a outras pastagens características da região Mediterrânica. Poderá também ser interessante avaliar a capacidade do sensor óptico em diferentes épocas do ano, nomeadamente também no pico de produção de Outono. Trotter *et al.* (2012) registaram diferenças significativas nas correlações obtidas entre a produtividade da pastagem e



**Figura 18** - NDVI registrado nas três repetições realizadas em cada condição (erva baixa/alta) na zona das gramíneas, no âmbito do ensaio complementar 3.

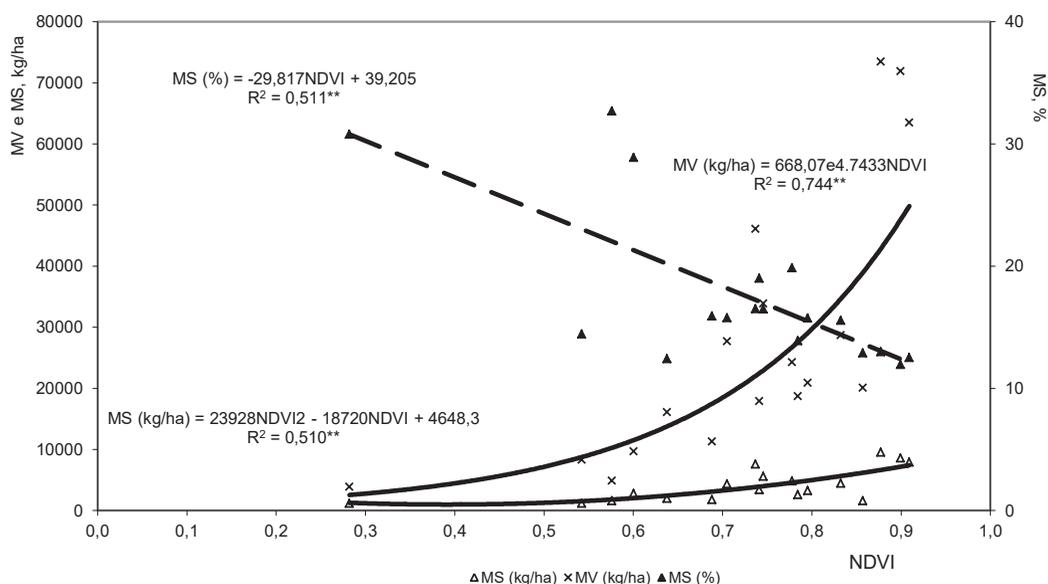


**Figura 19** - NDVI registrado nas três repetições realizadas em cada condição (erva baixa/alta) na zona das leguminosas, no âmbito do ensaio complementar 3.

o NDVI medido por sensores ópticos activos em função da proporção de material vegetal e material senescente que exista na pastagem em diferentes fases do seu desenvolvimento.

A utilização de ferramentas expeditas associadas a sistemas de geo-referenciação poderão simplificar o processo de monitorização das pastagens. A

informação gerada sobre a variabilidade espacial e temporal da pastagem constitui a base para a estimativa do alimento disponível, fundamental no apoio à tomada de decisão do gestor agrícola para definição de encabeçamentos animais e rotação de parcelas em pastoreio (Serrano *et al.*, 2014b).



**Figura 20** - Correlação entre o NDVI e a produtividade da pastagem (kg MV/ha e kg MS/ha) e entre o NDVI e a percentagem de matéria seca da pastagem, nos ensaios complementares.

## CONCLUSÕES

A agricultura enfrenta hoje desafios de competitividade e de sustentabilidade que exigem do gestor agrícola um conhecimento actualizado das opções que dispõe para otimizar o processo produtivo. As tecnologias estão disponíveis para todas as etapas do processo, no entanto, no geral, quem as vende não presta um serviço de assistência que permita ao utilizador tirar o máximo partido destas, representando um entrave à implementação e desenvolvimento das práticas de Agricultura de Precisão. A permanente evolução das ferramentas tecnológicas justificam, por isso, o interesse na sua experimentação, calibração e divulgação.

O maneio das pastagens e o planeamento e gestão dos respectivos sistemas de produção animal são essencialmente baseados na estimativa da produtividade pelo que, a avaliação de tecnologias com potencial para monitorizar de forma expedita aspectos relacionados com a variabilidade da pastagem e sua gestão constitui-se como um elemento fundamental para o sucesso empresarial num sector estratégico como é o da pecuária extensiva.

Neste trabalho foi avaliado um sensor óptico para monitorizar a variabilidade espacial e temporal da pastagem. Os resultados obtidos demonstraram o potencial que apresenta o sensor óptico activo "OptRx®", através da determinação do índice NDVI, para monitorizar a evolução do padrão

espacial e temporal do estado vegetativo de uma pastagem biodiversa. Índices mais elevados foram registados à medida que a pastagem se aproximava do seu maior vigor vegetativo, notando-se uma quebra significativa destes índices no final da Primavera, quando a pastagem começou a secar em virtude da conjugação de temperaturas mais elevadas com a redução dos teores de humidade no solo. Foram obtidas correlações significativas entre o NDVI e a produtividade da pastagem (em termos de matéria verde ou a matéria seca, em kg/ha). Este índice foi também efectivo na identificação de diferentes famílias botânicas (gramíneas/leguminosas) e, dentro destas, de estados diversos de desenvolvimento. Em analogia à utilização em cereais, na identificação de zonas com défice de azoto, este sensor poderá identificar desequilíbrios nas características da vegetação, por exemplo, por stress hídrico ou por deficiente drenagem do solo. A informação obtida, referente à fraca expressão ou mesmo à extinção de uma dada espécie botânica numa determinada zona da parcela poderá ser utilizada na elaboração de mapas de prescrição diferenciada de fertilizantes ou de sementes, base para a utilização de tecnologia VRT.

Foi ainda evidenciada uma relação inversa do NDVI com o teor de matéria seca (em %) de pastagens de sequeiro do Alentejo.

Os resultados obtidos abrem perspectivas para a realização de outros trabalhos que permitam testar

e validar este equipamento num leque mais alargado de condições de produção de pastagens, nomeadamente no que se refere à extraordinária diversidade de espécies botânicas características da região Mediterrânica, em diferentes épocas do ano

(Outono e Primavera), mas também nas pastagens e forragens regadas, em sistemas de produção intensivos, onde a incorporação tecnológica tende a assumir papel determinante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamchuk, V.I.; Hummel, J.W.; Morgan, M.T. e Udaphyaya, S.K. (2004) - On the go soil sensor for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 44, n. 1, p. 71–91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>
- Barnes, P.; Trotter, M.; Lamb, D.; Wilson, B.; Reid, N.; Lockwood, P. e Koen, T. (2010) - Using active optical sensing of biomass to investigate the effect of scattered trees on native perennial pastures. In: Eldridge, D.J. & Waters, C. (Eds.) - *Proceedings of the 16th Biennial Conference of the Australian Rangeland Society*. Perth, Australian Rangeland Society, 6 p.
- Bausch, W.C. e Delgado, J.A. (2003) - Ground-based sensing of plant nitrogen status in irrigated corn to improve nitrogen management. In: T. VanToai et al. (Eds.), *Digital imaging and spectral techniques: Applications to precision agriculture and crop physiology* (pp. 145–157). ASA Special Publication 66. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA.
- Braga, R. e Pinto, P.A. (2011) - Agricultura de precisão: adoção & principais obstáculos. *AGROTEC*, vol. 1, n. 1, p. 84–88.
- Brase, T. (2005) - *Precision Agriculture*. Thomsom Delmar Learning, New York, USA. 224p.
- Broge, N.H. e Leblanc, E. (2000) - Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, vol. 76, n. 2, p. 156–172. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8)
- Cox, S. (2002) - Information Technology: the global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 36, n. 2-3, p. 93–111. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00095-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00095-9)
- David, T.S.; Pinto, C.A.; Nadezhdina, N.; Kurz-Besson, C.; Henriques, M.O.; Quilhó, T.; Cermak, J.; Chaves, M.M.; Pereira, J.S. e David, J.S. (2013) - Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: A modeling approach based on root sap flow. *Forest Ecology and Management*, vol. 307, p. 136–146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.012>
- Donald, G.E.; Scott, J.M. e Vickery, P.J. (2013) - Satellite derived evidence of whole farmlet and paddock responses to management and climate. *Animal Production Science*, vol. 53, n. 8, p. 699–710. <http://dx.doi.org/10.1071/AN11179>
- Dusseux, P.; Moy-Hubert, L.; Corpetti, T. e Vertes, F. (2015) - Evaluation of SPOT imagery for the estimation of grassland biomass. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 38, p. 72–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.12.003>
- Efe Serrano, J. (2006) - *Pastagens do Alentejo: bases técnicas sobre caracterização, pastoreio e melhoramento*. Universidade de Évora – ICAM (Ed.), Évora, Portugal: Gráfica Eborense, p. 165–178.
- Gitelson, A.A. (2004) - Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology*, vol. 161, n. 2, p. 165–173. <http://dx.doi.org/10.1078/0176-1617-01176>
- King, W.M., Rennie, G.M., Dalley, D.E., Dynes, R.A. e Upsdell, M.P. (2010) - Pasture mass estimation by the C-DAX Pasture meter: Regional calibrations for New Zealand. In: *Proceedings of the 4th Australasian Dairy Science Symposium*, p. 233–238.
- Kumhálová, J.; Kumhála, F.; Kroulík, M. e Matejková, S. (2011) - The impact of topography on soil properties and yield and the effects of weather conditions. *Precision Agriculture*, vol. 12, n. 6, p. 813–830. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-011-9221-x>
- Laca, E.A.; Demment M.W.; Winckel, J. e Kie, J.G. (1989) - Comparison of weight estimate and rising-plate meter methods to measure herbage mass of a mountain meadow. *Journal of Range Management*, vol. 42, n. 1, p. 71–75. <http://dx.doi.org/10.2307/3899662>
- Laliberte, A.S.; Herrick, J.E.; Rango, A. e Winters, C. (2010) - Acquisition, orthorectification, and object-based

- classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 76, n. 6, p. 661–672. <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.76.6.661>
- Marques da Silva, J.R.; Peça, J.O.; Serrano, J.M.; Carvalho, M.J. e Palma, P.M. (2008) - Evaluation of spatial and temporal variability of pasture based on topography and the quality of the rainy season. *Precision Agriculture*, vol. 9, n. 4, p. 209–229. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-008-9066-0>
- Numata, I.; Chadwick, O.A.; Schimel, J.P.; Galvão, L.S. e Soares, J.V. (2008) - Evaluation of hyperspectral data for pasture estimate in the Brazilian Amazon using field and imaging spectrometers. *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, n. 4, p. 1569–1583. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.08.014>
- Morgan, M. e Ess, D. (1997) - *The Precision-Farming guide for agriculturists*. John Deere & Company, Moline, Illinois, USA, 117 p.
- Povh, F.P.; Molin, J.P.; Gimenez, L.M.; Pauletti, V.; Molin, R. e Salvi, J.V. (2008) - Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico activo em cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 43, n. 8, p. 1075–1083. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800018>
- Qi, J.; Chehbouni, A.; Huete, A.R.; Kerr, A.R. e Sorooshian, S. (1994) - A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing Environment*, vol. 48, n. 2, p. 119–126. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1)
- Rutledge, S.; Mudge, P.L.; Wallace, D.F.; Campbell, D.I.; Woodward, S.L.; Walla, A.M. e Schipper, L.A. (2014) - CO<sub>2</sub> emissions following cultivation of a temperate permanent pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 184, p. 21–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.005>
- Schellberg, J.; Hill, M.J.; Roland, G.; Rothmund, M. e Braun, M. (2008) - Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, vol. 29, n. 2-3, p. 59–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>
- Schipper, L.A.; Parfitt, R.L.; Fraser, S.; Littler, R.A.; Baisden, W.T. e Ross, C. (2014) - Soil order and grazing management effects on changes in soil C and N in New Zealand pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 184, p. 67–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.012>
- Seddaiu, G.; Porcua, G.; Ledda, L.; Roggero, P.P.; Agnelli, A. e Cortic, G. (2013) - Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 167, p. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.01.002>
- Serrano, J.M.; Peça, J.M.; Palma, P.M.; Marques da Silva, J.R. e Carvalho, M. (2009) - Calibração e validação de um medidor de capacitância num projecto de agricultura de precisão em pastagens. *Revista das Ciências Agrárias*, vol. 32, n. 2, p. 85–96.
- Serrano, J.; Peça, J.; Silva, J.M. e Shahidian, S. (2014a) - Avaliação de tecnologias para aplicação diferenciada de fertilizantes: novos conceitos de gestão em pastagens permanentes. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 37, n. 3, p. 253–269.
- Serrano, J.; Peça, J.; Silva, J.M. e Shahidian, S. (2014b) - Aplicação de fertilizantes: tecnologia, eficiência energética e ambiente. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 37, n. 3, p. 270–279.
- Trotter, M. (2010) - Precision agriculture for pasture, rangeland and livestock systems. In: *Proceedings of 15th Australian Agronomy Conference "Food Security from Sustainable Agriculture"*, Lincoln, New Zealand, 15th - 18th November.
- Trotter, M.G.; Schneider, D.; Lamb, D.; Edwards, C. e McPhee, M. (2012) - Examining the potential for active optical sensors to provide biomass estimation in improved and native pastures. In: *Proceedings of the 16th Australian Agronomy Conference "Capturing Opportunities and Overcoming Obstacles in Australian Agronomy"*, University of New England 14<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup> October, Australia.
- Vickery, P.J. e Nicol, G.R. (1982) - An improved electronic capacitance meter for estimating pasture yield: construction details and performance tests. *Animal Research Laboratories Technical*, paper n. 9, p. 1–22.