



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**Avaliação de tecnologias para
monitorizar a influência das árvores na
evolução do padrão espacial de
pastagens sob montado**

Pedro Miguel Alarico Sobral

**Orientador: Professor Doutor João Manuel Pereira Ramalho
Serrano**

Mestrado em Engenharia Zootécnica

Dissertação

Évora, 2016

Agradecimentos

Com a realização desta dissertação tenho de agradecer a ajuda prestada e o apoio a pessoas que contribuíram de uma ou outra maneira para a sua realização.

Desde já agradeço ao meu orientador, Professor Doutor João Manuel Pereira Ramalho Serrano, pela proposta do tema bem como por toda a preciosa ajuda e disponibilidade manifestada ao longo deste trabalho, sem ele a realização deste trabalho seria impossível, o meu muito obrigado.

Agradeço também ao Professor Shakib Shahidian por toda a sua disponibilidade e ajuda na recolha de dados no campo.

Quero agradecer à Eng^a. Maria Graça Machado e à D^a. Margarida Romão pela disponibilidade do laboratório de nutrição animal onde todo o material vegetal foi moído e analisado quimicamente.

Agradeço ao Professor José Rafael Silva pela ajuda no tratamento estatístico dos dados.

Agradecer também à bióloga Dr.^a Eliana pelo contributo que deu na identificação das espécies botânicas estudadas.

Gostaria de agradecer ao Sr. Custódio Alves pela sua disponibilidade e ajuda na recolha de amostras de solo.

Aos meus pais, pelo esforço, dedicação, amor e orgulho que demonstraram, aos meus padrinhos, avós e primos por todo o incentivo e dedicação porque sem eles não teria sido possível concretizar o mestrado.

E por último, à Ana Raquel Cândido, minha namorada e grande amiga, pelo apoio e pela ajuda no decorrer destes dois anos.

A todos vós, o meu muito obrigado.

Resumo

Este trabalho teve como objectivo principal avaliar tecnologias que permitam monitorizar o efeito das árvores sobre a dinâmica dos nutrientes no solo e sobre a variabilidade da produtividade e da qualidade de uma pastagem integrada no ecossistema de montado. O processo de amostragem foi realizado entre Novembro de 2015 e Julho de 2016. O estudo revelou um efeito positivo das árvores sobre as propriedades do solo e sobre a qualidade da pastagem. Foram também encontradas correlações significativas entre as medições da capacitância, realizadas pela sonda “Grassmaster II”, ou do NDVI, realizadas pelo sensor óptico activo “OptRx”, e parâmetros da produtividade ou da qualidade da pastagem, respectivamente. Os resultados obtidos mostram o potencial das técnicas e equipamentos de agricultura de precisão para monitorizar e interpretar a variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das pastagens.

Palavras-chave: pastagens, árvores, nutrientes no solo, sensores

Evaluation of technologies for monitoring the influence of trees in the evolution of the spatial pattern of pastures under *montado*.

Abstract

The main purpose of this work was to evaluate technologies that allow monitoring the effect of trees on the dynamic of soil nutrients and on the variability of productivity and quality of a pasture integrated in the *montado* ecosystem. The sampling process was carried out between November 2015 and July 2016. The study revealed the positive effect of the trees on the soil properties and on the quality of the pasture. Significant correlations were found between the capacitance measurements carried out by the “Grassmaster II”, or NDVI measurements carried out by the “OptRx” active optical sensor, and the productivity parameters or those of the quality of the pasture, respectively. The results show the potential of the precision agriculture techniques and equipment for monitoring and understanding the spatial variability of productivity and quality of the pastures.

Keywords: pastures, trees, soil nutrients, sensors

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de figuras	vii
Índice de quadros	ix
Lista de abreviaturas	x
1. Introdução	1
1.1. Objectivo	1
2. Caracterização da pastagem Mediterrânica no ecossistema de montado	2
2.1. Factores que influenciam a produção anual de biomassa em condições de sequeiro	2
2.2. A aplicação do conceito de “Agricultura de precisão” em pastagens	5
2.3. Estimativa da produtividade de uma pastagem.....	7
2.3.1. Método directo	7
2.3.2. Métodos indirectos.....	9
2.3.2.1. Sonda de capacitância	9
2.3.2.2. Sensor Óptico “OptRx”	11
2.3.2.3. Câmara térmica – Termografia de infravermelhos	12
2.4. Influência das árvores no desenvolvimento da pastagem.....	14
3- Material e métodos.....	17
3.1- Caracterização do local do estudo.....	17
3.2- Caracterização climática.....	19
3.3- Amostragem do solo e da pastagem	20
3.4- Tratamento estatístico dos dados	26
4- Resultados e discussão	27
4.1- Variabilidade dos parâmetros do solo.....	27

4.1.1- Nutrientes	27
4.1.2- Humidade no solo ao longo do ciclo vegetativo da pastagem	29
4.2- Monitorização da pastagem ao longo do ensaio.....	32
4.3- Efeito das árvores na pastagem	34
4.3.1- Influência das árvores na produtividade da pastagem.....	34
4.3.2- Influência das árvores na qualidade da pastagem.....	36
4.3.3- Influência das árvores no índice de vegetação da pastagem (NDVI).....	39
4.3.4- Influência das árvores na capacitância.....	40
4.3.5- Influência das árvores na temperatura da pastagem.....	41
4.3.6- Análise cronológica resumida dos dados obtidos.....	44
4.4- Correlações entre os parâmetros da pastagem e as medições dos sensores	46
4.4.1- Correlação entre a capacitância e os parâmetros de produtividade da pastagem.....	46
4.4.2- Correlação entre o NDVI e os parâmetros de produtividade e de qualidade da pastagem.....	47
5- Conclusões	49
6- Referências bibliográficas	51

Índice de figuras

Figura 1. Regeneração da pastagem permanente de sequeiro com ressementeira natural (Barros e Freixial, 2012).	3
Figura 2. Curva de crescimento da pastagem num ano normal, num Outono seco e numa Primavera seca (Crespo, 2008).	4
Figura 3. Esquema de um ciclo completo de agricultura de precisão em pastagens (Serrano <i>et al.</i> , 2014b)	5
Figura 4. Imagem explicativa do funcionamento da sonda “Grassmaster II”.	10
Figura 5. Mapa de NDVI numa pastagem permanente no Alentejo (Serrano <i>et al.</i> , 2014a).	13
Figura 6. Fotografia da câmara de infravermelhos num ponto de amostragem.	14
Figura 7. Imagem da parcela em estudo; a linha verde representa o limite da parcela; A1, A2 e A3 são as árvores consideradas na zona alta; B1, B2 e B3 são as árvores consideradas na zona baixa.	17
Figura 8. Mapa altimétrico da parcela do campo experimental.	18
Figura 9. Gráficos termo-pluviométricos referentes ao trinténio 1951-1980 (em cima) e do ano agrícola de 2015/2016 (em baixo); dados da Estação Meteorológica da Mitra.	20
Figura 10. Esquema do posicionamento dos pontos de amostragem debaixo da copa da árvore e fora da mesma, com orientação Norte e Sul (Serrano <i>et al.</i> , 2016a).	21
Figura 11. Caixas de exclusão de pastoreio colocadas nos pontos de amostragem.	22
Figura 12. Sonda meia-cana e maço.	22
Figura 13. À esquerda, medição com o sensor “OptRx”; à direita, pormenor do sensor, do receptor GPS e da pequena bateria portátil (Serrano <i>et al.</i> , 2016b).	23
Figura 14. À esquerda, medição com a Grassmaster II; à direita, pormenor da consola.	24
Figura 15. Medições na pastagem com a câmara térmica de infravermelhos..	24
Figura 16. Corte da pastagem na área de amostragem.	25
Figura 17. Precipitação semanal (numeração nas abcissas) acumulada ao longo dos meses de ensaio (39 semanas).	30

Figura 18. Influência das árvores na humidade do solo: em cima, profundidade 0-0,20 m; em baixo, profundidade 0,20-0,40 m.....	31
Figura 19. Efeito das árvores na evolução da matéria verde (MV) da pastagem.....	35
Figura 20. Efeito das árvores na evolução da matéria seca (MS) da pastagem.....	36
Figura 21. Efeito das árvores na evolução do teor de cinzas totais (CT) da pastagem.....	37
Figura 22. Efeito das árvores na evolução da proteína bruta (PB) da pastagem.....	38
Figura 23. Efeito das árvores na evolução dos teores de NDF da pastagem. .	39
Figura 24. Efeito das árvores nos índices de vegetação (NDVI) da pastagem.	40
Figura 25. Efeito das árvores nas medições de capacitância da pastagem.	41
Figura 26. Fotografia da pastagem diferenciada debaixo (DC) e fora da copa (FC) da árvore.	42
Figura 27. Efeito das árvores na temperatura da pastagem ao longo do ciclo vegetativo.	43
Figura 28. À esquerda: fotografia térmica de uma pastagem fora do efeito da copa; à direita: fotografia térmica de uma pastagem debaixo da copa da árvore.	44

Índice de quadros

Quadro 1. Métodos internacionais para determinação das cinzas totais, da proteína total e da fibra (NDF) da pastagem.	26
Quadro 2. Influência das árvores nos parâmetros do solo.	28
Quadro 3. Umidade no solo (em %) ao longo do ensaio, a duas profundidades (0-0,20 m e 0,20-0,40 m).....	29
Quadro 4. Evolução de parâmetros indicadores da produtividade e da qualidade da pastagem ao longo do ensaio.	33
Quadro 5. Coeficiente de correlação entre a capacidade e a produtividade da pastagem (MV e MS) ao longo do ciclo vegetativo.	47
Quadro 6. Coeficiente de correlação entre o NDVI e os parâmetros da pastagem (MV, MS, Cinzas, PB e NDF) ao longo do ciclo vegetativo.	48

Lista de abreviaturas

AP- Agricultura de Precisão

CT- Cinzas totais

CV- Coeficiente de variação

DC- Debaixo da copa

FC- Fora da copa

GNSS- *Global Navigation Satellite System*

GPS- *Global Positioning System*

MO- Matéria orgânica

MS- Matéria seca

MV- Matéria verde

NDF- *Neutral detergent fiber*

NDVI- *Normalized Difference Vegetation Index*

PB- Proteína bruta

SIG- Sistemas de Informação Geográfica

VRT- Tecnologia de Aplicação Variável

1. Introdução

Esta dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Zootécnica pela Universidade de Évora enquadra-se num projecto apoiado pelo Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), tendo como objecto o ecossistema de montado: solo, pastagem, árvores e animais.

As pastagens predominantes no Alentejo são indissociáveis das paisagens que caracterizam a agricultura de sequeiro e estão amplamente relacionadas com o montado. Carmona Belo *et al.* (2013) salientaram a importância da pecuária extensiva que assenta a sua actividade nas pastagens, sendo fundamental monitorizar a sua produtividade e a correspondente variabilidade espacial, as quais constituem a base de uma gestão diferenciada (Serrano *et al.*, 2016b).

O interesse em estudar as interacções entre os constituintes do ecossistema tem levado diversas equipas a desenvolver trabalhos de investigação (Teixeira *et al.*, 2011; Gómez-Rey *et al.*, 2014; Serrano *et al.*, 2014b; Barreto, 2015; Martins, 2015) que visam dar um contributo para o conhecimento e um estímulo à pecuária extensiva e ao montado.

A incorporação de tecnologias, sensores e receptores GPS, veio trazer à agricultura respostas expeditas para questões complexas resultantes da variabilidade, acentuada no meio agro-silvo-pastoril pela presença de árvores, afloramentos rochosos e animais em pastoreio (Serrano *et al.*, 2014a).

A tecnologia também veio dar um contributo decisivo através dos sistemas de informação geográfica (SIG), convertendo os dados recolhidos no campo em informação útil à gestão e ao apoio à tomada de decisão no melhoramento das pastagens, considerado o factor chave para o sucesso do conceito de agricultura de precisão (AP) (Schellberg *et al.*, 2008).

1.1. Objectivo

Este trabalho teve como objectivo principal avaliar tecnologias que permitam monitorizar o efeito das árvores sobre a dinâmica dos nutrientes no solo e sobre a variabilidade da produtividade e da qualidade de uma pastagem integrada no ecossistema de montado.

2. Caracterização da pastagem Mediterrânica no ecossistema de montado

2.1. Factores que influenciam a produção anual de biomassa em condições de sequeiro

A produção de biomassa em pastagens de sequeiro é bastante influenciada pelo clima. Portugal encontra-se sob o efeito do clima Mediterrânico. É um clima temperado, com um Verão longo, quente e seco (Feio, 1991). A precipitação é irregular (intra e inter-anualmente), concentrando-se nas estações frias, principalmente no Inverno onde as plantas apresentam um baixo desenvolvimento vegetativo (Feio, 1991). Estas condições naturais reconhecidas por agricultores, técnicos e investigadores, constituem a justificação para o carácter extensivo que apresentam os sistemas de agricultura Mediterrânica baseados em pastagens de sequeiro, isto é, sistemas de baixa produtividade e, por consequência, com baixos níveis de utilização de factores de produção, nomeadamente capital e trabalho (Potes, 2011).

O conjunto de especificidades edafo-climáticas descritas é responsável pelo estrato herbáceo desta região, que é dominado pelas gramíneas e leguminosas e caracterizado também pela diversidade de espécies dentro destas famílias de plantas pratenses. A alta biodiversidade que ocorre nestes meios é uma forma de defesa da natureza contra a irregularidade climática que o caracteriza (Potes, 2011). As plantas tiveram de se adaptar para sobreviver aos verões quentes, longos e secos, passando este período sob a forma de semente. Por outro lado, as irregularidades climáticas incluem primaveras secas, as quais podem inviabilizar a conclusão do ciclo das plantas, a produção de semente. Por esta razão, é importante haver um “banco de sementes” no solo, que pela sua diversidade e quantidade em espécies, garante no Outono seguinte a germinação de um estrato herbáceo como se pode observar na Figura 1. A existência de sementes com graus de dureza diferentes permite, por outro lado, que essas plantas germinem de forma desfasada no tempo, mantendo a regeneração e o equilíbrio da pastagem, quer as primeiras chuvas surjam logo no fim do Verão ou apenas no Outono (Carmona, 1995).

Em resumo, as pastagens permanentes de sequeiro Mediterrânico são constituídas por plantas que nascem no Outono, crescem no período de Outono/Inverno, reproduzem-se na Primavera (produzindo flor e semente) e secam no fim da Primavera, passando o Verão sob forma de semente no solo (Potes, 2011).



Figura 1. Regeneração da pastagem permanente de sequeiro com ressementeira natural (Barros e Freixial, 2012).

Este tipo de pastagem é perfeitamente adaptado a um pastoreio contínuo ou intermitente com cargas animais baixas.

A curva de produção de pastagem de sequeiro reflecte a conjugação da temperatura e da precipitação. A Figura 2 ilustra o ciclo de produção de pastagens permanentes de sequeiro no Alentejo. Tipicamente este tipo de pastagem apresenta um pequeno pico de produção no Outono, baixa produção no Inverno e um pico máximo de produção na Primavera (entre Abril e Maio), quando a temperatura e a precipitação se conjugam favoravelmente.

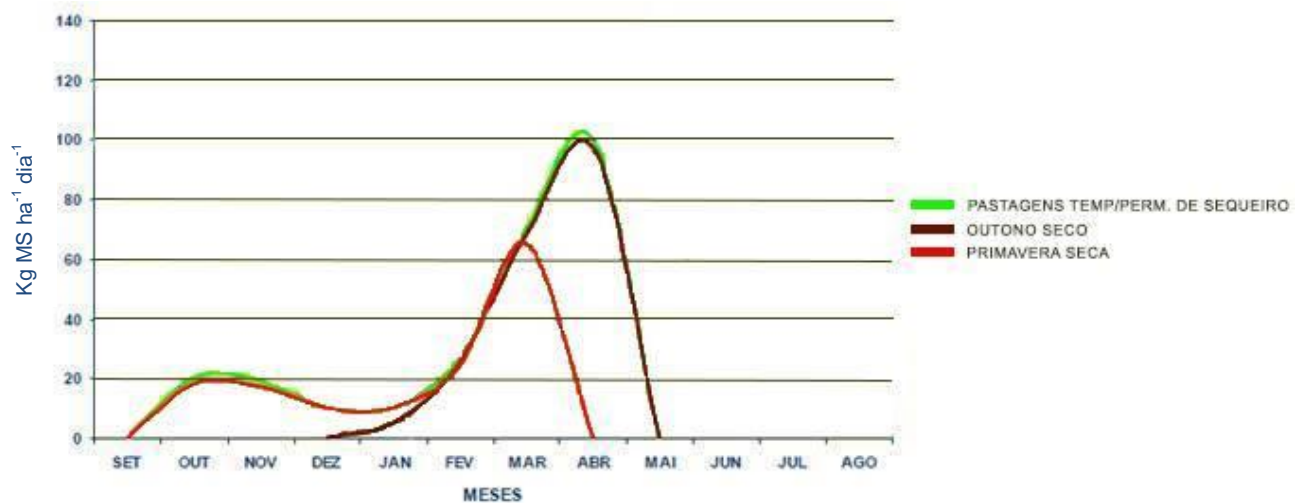


Figura 2. Curva de crescimento da pastagem num ano normal, num Outono seco e numa Primavera seca (Crespo, 2008).

Esta produção de Primavera pode representar cerca de 65 a 85% da produção total anual da pastagem (Barros e Freixial, 2012). Nas outras estações do ano, ou por temperaturas baixas ou por falta de precipitação o seu desenvolvimento é condicionado (Feio, 1991; Barros e Freixial, 2012). Assim, a partir de Maio e até Setembro, as chuvas são quase nulas e, por essa razão, no Verão, por falta de humidade, não há desenvolvimento das pastagens. O Outono é a estação onde caem as primeiras chuvas e as sementes começam a germinar. Para que ocorra um ligeiro pico de erva é preciso que a precipitação aconteça logo no início da estação, com as temperaturas ainda relativamente altas. Se o Outono for normal a produção de biomassa representa cerca de 15 a 35% da produção anual. Se pelo contrário as primeiras chuvas vierem tarde, com temperaturas mais baixas o desenvolvimento vegetativo das plantas é menor e a percentagem da produção nesta época em relação ao total anual também é menor (Barros e Freixial, 2012). A maior concentração de precipitação encontra-se na estação fria, no Inverno, por vezes excessiva num período onde os dias são curtos e as temperaturas baixas, o que não favorece o desenvolvimento vegetativo das plantas (Feio, 1991). Neste período, as leguminosas são mais afectadas e demoram mais tempo a desenvolver-se do que as gramíneas. Também neste período é comum a suplementação animal com concentrado, alimentos conservados ou rama de árvores (Potes, 2011).

2.2. A aplicação do conceito de “Agricultura de precisão” em pastagens

O termo agricultura de precisão (AP) remete-nos, na sua origem, para os cereais, para a utilização de tecnologia que permite avaliar e monitorizar a variabilidade do solo e das culturas (sensores), tratar a informação georreferenciada obtida e apoiar a tomada de decisão (Sistemas de informação Geográfica, SIG), e para fechar o ciclo através da gestão diferenciada da aplicação dos factores de produção (VRT, Figura 3).

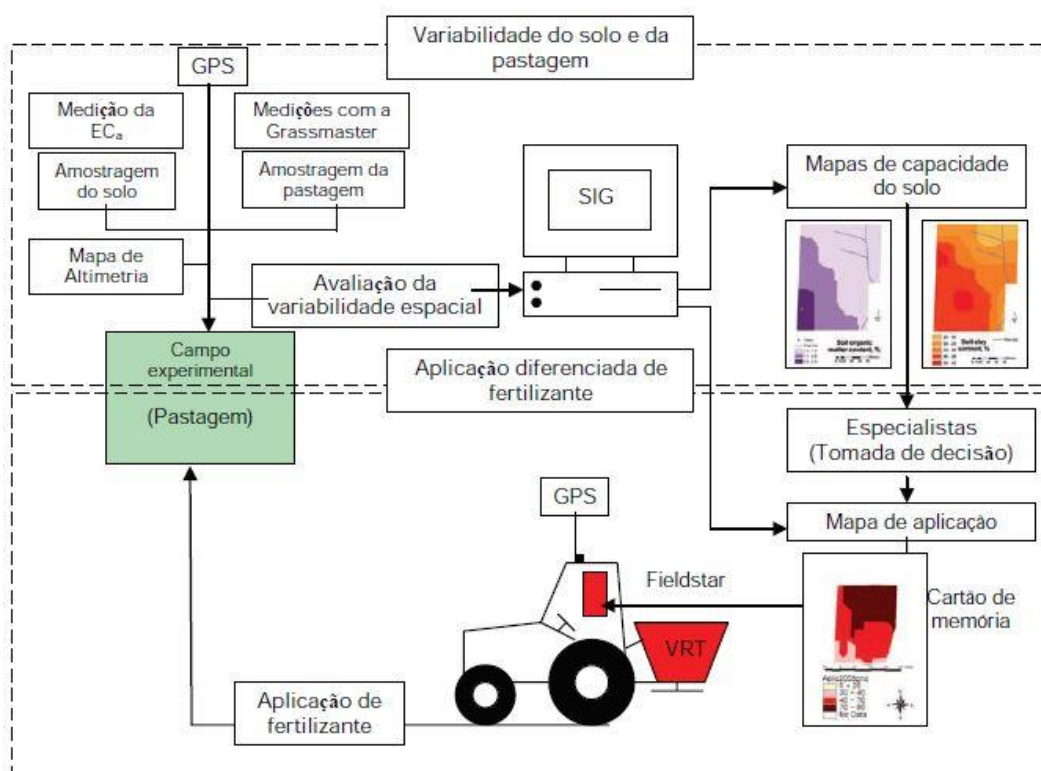


Figura 3. Esquema de um ciclo completo de agricultura de precisão em pastagens (Serrano *et al.*, 2014b)

As pastagens representam uma extensa área de utilização do solo em Portugal e no Mundo e, por isso, um grande potencial para a aplicação deste conceito (Aubert *et al.*, 2012). Inicialmente haveria algumas reservas à sua aplicação em pastagens em resultado do elevado custo de aquisição dos equipamentos e à ausência de estudos de calibração dos mesmos nas condições de produção de pastagens no Alentejo. Entretanto, os custos têm sofrido uma quebra importante, acompanhada da publicação de vários

trabalhos de investigação e demonstração (Schellberg *et al.*, 2008; Serrano *et al.*, 2014a, 2014b), o que, associado ao aumento do nível de formação dos agricultores e à maior facilidade de utilização das tecnologias disponíveis, contribuiu para uma maior eficiência e rentabilidade destes sistemas (Trotter, 2010).

No Alentejo as pastagens permanentes estão maioritariamente inseridas no ecossistema de montado, sob coberto de sobro ou azinho e sujeitas a sistemas de pastoreio extensivo (Serrano *et al.*, 2014b).

O planeamento e manejo de pastagens em sistemas de produção animal são essencialmente baseados na estimativa de produção e acumulação de matéria seca. O principal objectivo desta estimativa é encontrar a maior eficiência entre o crescimento da pastagem, o consumo e a conversão alimentar pelos animais (Bernardi e Perez, 2014). O acompanhamento e monitorização das pastagens têm como objectivo estimar a produtividade, a variabilidade espacial e a taxa de crescimento com métodos rápidos, precisos, não destrutivos e baixo custo de aquisição (Porter *et al.*, 2014). A avaliação da qualidade e quantidade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo é a base para a optimização do encabeçamento animal em cada parcela.

As pastagens, constituídas por várias espécies botânicas, instaladas em solos relativamente pobres e sujeitas a pastoreio animal apresentam uma grande variabilidade intra-parcelar (Shellberg *et al.*, 2008; Serrano *et al.*, 2014b). Shellberg *et al.* (2008), para além da fertilidade dos solos, salientam ainda o efeito do relevo na variabilidade das pastagens. O ideal será reduzir as variações de quantidade e qualidade de alimento colocado à disposição dos animais ao longo do ano, reduzindo também as necessidades de suplementação, traduzindo-se na qualidade do produto final (Carmona Belo *et al.*, 2013).

Starks *et al.* (2006) desenvolveram um trabalho de apoio à tomada de decisão baseado no nível de biomassa da pastagem, no manejo das mesmas e nas estimativas de produção, tendo demonstrado que a produtividade e rentabilidade podem ser melhoradas com o auxílio de meios de AP.

A amostragem da pastagem para efeitos de estimativa da produção através do corte directo da pastagem no campo é um processo moroso, pelo

que é crucial o desenvolvimento e demonstração de métodos indirectos e expeditos (Serrano *et al.*, 2009a).

Entre estes encontram-se o disco medidor de forragem, o bastão graduado ou a sonda medidora de capacitância. Para além destes, sensores tendo como base de funcionamento a reflectância óptica, sensores multiespectrais e híper-espectrais, fotografia aérea e imagens de satélite também começam a ser utilizadas como ferramentas de avaliação em culturas anuais (Haboudane *et al.*, 2004; Brickleyer e Brown, 2010; Reeves, 2010).

2.3. Estimativa da produtividade de uma pastagem

2.3.1. Método directo

O método mais preciso para calcular a produção de biomassa de uma pastagem consistiria na colheita total da pastagem a ser avaliada. No entanto, este procedimento é inviável, uma vez que para além do tempo e da mão-de-obra necessários, teria o inconveniente da forragem retirada da parcela não pode ser consumida pelos animais no campo (Martuscello, 2004; Arruda *et al.*, 2011). Para simplificar, é realizado o corte da pastagem em determinadas áreas de amostragem, representativas da parcela (“método do quadrado”). Trata-se, por isso, de um método destrutivo, trabalhoso e demorado, pouco prático em termos de gestão do dia-a-dia das pastagens. Por estas razões pode haver tendência na diminuição do número de amostras, o que acentuará a menor representatividade da amostragem e da fiabilidade da estimativa (Cóser *et al.*, 2002).

Pedreira (2002) reforça que cada amostra é uma fracção muito pequena de toda a pastagem e, por essa razão, pode induzir a erros no momento de estimar a produtividade total duma parcela.

Atendendo a que as pastagens se destinam a ser pastoreadas pelos animais no campo, é comum a utilização de caixas de exclusão de pastoreio (em madeira ou em ferro e rede de arame, em função da espécie animal), com as quais se impede o acesso dos animais às áreas de amostragem e, assim, se quantifica a produção total de pastagem (Gardner, 1967).

A área das caixas de exclusão de pastoreio pode variar de 0,1m² até 2,0m² (Salman *et al.*, 2006), sendo que a largura, o comprimento e a altura dependem da maior ou menor heterogeneidade da pastagem a ser analisada. Numa pastagem homogénea a dimensão da caixa pode ser menor do que no caso das pastagens heterogéneas, como por exemplo as pastagens naturais. Também o número de amostras necessárias para ter uma estimativa fiável depende da heterogeneidade da pastagem a ser avaliada. O número de amostras deve suportar a variabilidade da pastagem. Salman *et al.* (2006) consideraram 30 como o número mínimo de amostras a realizar numa parcela. Gardner (1967) propôs, inclusivamente, uma Equação (1) para calcular o número de amostras ideal para uma pastagem, no entanto, conduzia a números de amostras impraticáveis.

$$N = \frac{K^2 \cdot S^2}{D^2} \quad (1)$$

Onde:

N = nº de amostras necessárias

K² = coeficiente de confiança (1,6 para 90%, 2 para 95%, 3 para 99%)

S² = variância da amostra

D² = percentagem de variação em torno da média, ex. 10%

Para além do número de amostras a recolher para estimar a produtividade da pastagem há a considerar o corte da pastagem em si. A altura de corte deve ter em conta a espécie animal que pastoreia a parcela e o tipo de plantas que predominam (Salman *et al.*, 2006). No que se refere à espécie animal, o pastoreio dos bovinos acontece a maior altura em relação ao solo do que dos ovinos e, no que se refere às plantas, as gramíneas têm um crescimento mais erecto enquanto as leguminosas apresentam um porte mais prostrado.

O equipamento de corte é bastante diverso, desde facas, foices, tesouras, até pequenas máquinas eléctricas.

2.3.2. Métodos indirectos

Os métodos indirectos são caracterizados por “não destruir” as plantas no acto da amostragem. Foram desenvolvidos principalmente com o objectivo de proporcionarem uma estimativa mais rápida e prática em grandes áreas de pastagens. Existem, no entanto, calibrações para os diferentes tipos de pastagem, o que exige o corte de algumas amostras (Cunha, 2002), técnica conhecida por dupla amostragem. Nesta, dois métodos de avaliação, um directo e outro indirecto, são utilizados ao mesmo tempo de modo a promover a calibração do método indirecto tendo como referencial o método directo. Normalmente, a calibração é feita utilizando um pequeno número de amostras, onde primeiro se faz a leitura pelo método indirecto, seguido do corte da forragem pelo método directo (Pedreira, 2002; Zanine *et al.*, 2006).

2.3.2.1. Sonda de capacitância

A sonda electrónica de capacitância é uma ferramenta utilizada para estimar a produtividade da pastagem em termos de matéria seca (MS) por unidade de área (kg/ha). Este método é baseado na perturbação do sinal eléctrico (capacitância) produzido por um oscilador e captado pelo sensor (Zanine *et al.*, 2006). Relaciona as diferenças entre as constantes dieléctricas da pastagem e do ar, tendo sido comprovada a sua utilidade por vários autores (Silva e Cunha, 2003; Cauduro *et al.*, 2006; Serrano *et al.*, 2009b).

O medidor de capacitância é composto por uma haste e por uma consola (Figura 4). A haste é constituída por três camadas: (I) a parte exterior é revestida de material isolante; (II) a segunda, camada intermédia, é constituída por um tubo de alumínio; (III) a terceira, ou seja, a camada mais interna da haste, é um fio terra de aço inoxidável, cuja extremidade inferior se encontra em contacto com o solo durante as medições. Na extremidade oposta da haste (extremidade superior) localiza-se a consola electrónica que recebe o sinal dos condutores e, tendo por base uma equação de calibração previamente introduzida, informa o valor da estimativa da MS (T'Mannetje, 2000).

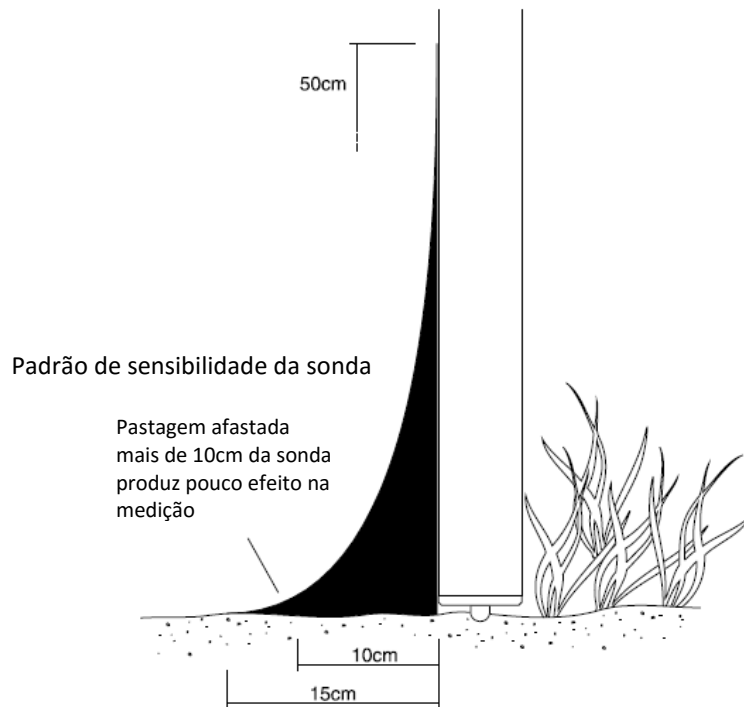


Figura 4. Imagem explicativa do funcionamento da sonda “Grasmaster II”.

No protocolo de utilização da sonda no campo, previamente a cada medição, a consola dá instrução para posicionar a sonda no ar, determinando assim o valor de referência relativo à humidade do ar (calibração ao ar). Só depois deste procedimento a sonda inicia os registos, assentando a base da haste no solo nos diferentes pontos de amostragem (Currie *et al.*, 1987; Zanine *et al.*, 2006).

Os medidores de capacitância são comercializados com equações de calibração pré estabelecidas pelo fabricante para condições específicas (da Nova Zelândia), pelo que a leitura que o visor da consola apresenta é já a da produtividade da pastagem (em kg MS/ha). Contudo, estas equações foram obtidas em condições muito diversas daquelas que caracterizam a pastagem Mediterrânica. Este aparelho necessita, por isso, de ser calibrado, o que exige a recolha de amostras representativas da pastagem. Identificadas as amostras e após a calibração ao ar, realiza-se a leitura de capacitância de cada amostra, procedendo-se de seguida ao corte da pastagem numa área conhecida. A pastagem cortada é guardada em sacos devidamente identificados e transportada ao laboratório onde se procede à sua pesagem e desidratação em estufa para determinação da MS (kg/ha). A correlação entre os valores medidos pela sonda (estimativa) e os valores determinados após

processamento em laboratório permite elaborar a equação de calibração específica da pastagem em causa, a qual poderá ser utilizada em futuras estimativas na mesma pastagem ou em pastagens semelhantes (T'Mannetje, 2000; Zanine *et al.*, 2006).

A humidade da pastagem tem influência nas medições da sonda, pelo que é necessário realizar calibrações específicas para os diferentes tipos de plantas e épocas do ano, as quais representam diferentes fases de crescimento da vegetação (Terry *et al.*, 1981; Currie *et al.*, 1987; Hirata, 2000).

Currie *et al.* (1987) estabeleceram equações de regressão linear entre as leituras da sonda de capacitância e a massa de forragem em verde e em seco, tendo obtido um coeficiente de determinação global (r^2) de 0,50 para equações do tipo linear, estatisticamente significativas.

Serrano *et al.* (2009b) realizaram ensaios de calibração da sonda de capacitância “Grassmaster II” para estimativa da MS em pastagens típicas do Alentejo. Os ensaios foram realizados em 2007, 2008 e 2009 em diferentes datas (estados fenológicos) e em cinco explorações, representando pastagens típicas da região (gramíneas; leguminosas; e, pastagem biodiversa, mistura de gramíneas, leguminosas e outras espécies). As técnicas de regressão linear utilizadas em 2007 para relacionar a massa da forragem (medidas directas) com a leitura do medidor de capacitância (medidas indirectas) conduziram a elevados coeficientes de determinação em gramíneas ($r^2=0,90$; $P<0,01$) e pastagem heterogénea ($r^2=0,87$; $P<0,001$) e coeficientes de determinação moderados em leguminosas ($r^2=0,48$; $P<0,05$). A validação das equações de calibração realizada em 2008 e 2009, em dois locais, mostrou valores de RMSE (*root-mean-square error*) de 130 kg/ha em pastagens heterogéneas e 456 kg/ha em leguminosas. Os autores concluíram que a sonda de capacitância, associada a um receptor GPS, pode ser uma preciosa ajuda na estimativa expedita da produção de pastagem em áreas extensas.

2.3.2.2. Sensor Óptico “OptRx”

O sensor óptico mede a energia reflectida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético, permitindo o

cálculo de vários índices, entre os quais o índice de vegetação NDVI. Este baseia-se no cálculo da razão entre a reflectância no vermelho (RED) e no infravermelho próximo (NIR) (Equação 2).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (2)$$

A informação obtida através do sensor, associada a informação georreferenciada pode ser organizada na forma de mapas. Serrano *et al.* (2014a) realizaram estudos com carácter exploratório num campo experimental de pastagem os quais permitiram a elaboração de mapas que ilustravam a variabilidade espacial (Figura 5) e que podem ser utilizados na base da tomada de decisão em termos de gestão. Segundo os mesmos autores, é possível correlacionar este índice com a produtividade da pastagem e também com a identificação das diferentes espécies de plantas, podendo, inclusivamente, suportar a fertilização diferenciada.

A elaboração de mapas a partir das medições georreferenciadas realizadas por diferentes sensores, transporta a informação recolhida para a dimensão do conhecimento, do registo histórico da parcela e da tomada de decisão (Serrano *et al.*, 2014a). Estas são as ferramentas que permitem a utilização de tecnologia de aplicação variável, a qual pode ser uma interessante estratégia para garantir o equilíbrio de nutrientes no solo e para otimizar a produtividade da pastagem (Serrano *et al.*, 2014a).

2.3.2.3. Câmara térmica – Termografia de infravermelhos

A termografia de infravermelhos é uma técnica usada em diferentes sectores da indústria automóvel, da construção civil, do armamento, da medicina, da agricultura e da fisiologia vegetal (Maes e Steppe, 2012; Costa *et al.*, 2013b). Esta técnica permite detectar a radiação infravermelha emitida pelos seres vivos, convertendo-a em imagens visíveis contendo informação sobre a temperatura à superfície dos corpos, designadas termogramas. De

acordo com a lei de Stefan-Boltzmann a emissão de radiação infravermelha aumenta com a temperatura dos corpos. Os corpos com temperaturas superiores a zero graus emitem energia electromagnética no comprimento de onda dos infravermelhos. Deste modo, a radiação infravermelha total detectada pela câmara térmica corresponde ao somatório da radiação emitida e reflectida pelo objecto observado (Kaplan, 2007 citado por Costa *et al.*, 2013a).

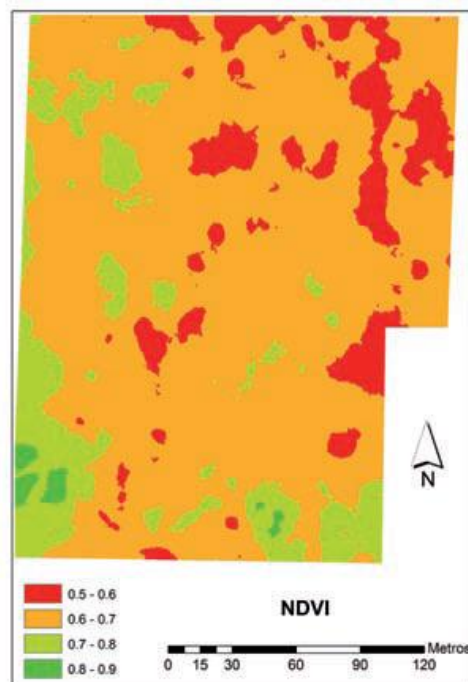


Figura 5. Mapa de NDVI numa pastagem permanente no Alentejo (Serrano *et al.*, 2014a).

As condições climáticas afectam em muito a medição da temperatura da folha como indicador do estado fisiológico da planta. Condições de bom tempo, sem vento, são óptimas para as determinações de campo. Para minimizar o efeito da variação ambiental, como por exemplo da temperatura do ar, da intensidade luminosa, da velocidade do vento, e avaliar correctamente o estado de stress (hídrico) das culturas no campo, usam-se temperaturas de referência que permitem o cálculo dos chamados índices térmicos. A análise e o processamento das imagens são fundamentais para extrair informação sobre

a temperatura das várias espécies no caso concreto das pastagens (García-Tejero *et al.*, 2012).

As imagens obtidas com uma câmara térmica de infravermelhos podem mostrar diferenças entre plantas consoante o seu nível hídrico (Zarco-Tejada *et al.*, 2012), existindo a correlação entre a temperatura foliar das plantas e o seu teor de humidade (Berni *et al.*, 2009), o que permite o diagnóstico antecipado do stress hídrico das plantas (Saraiva *et al.*, 2014). A Figura 6 ilustra um exemplo da imagem captada pela câmara de infravermelhos.

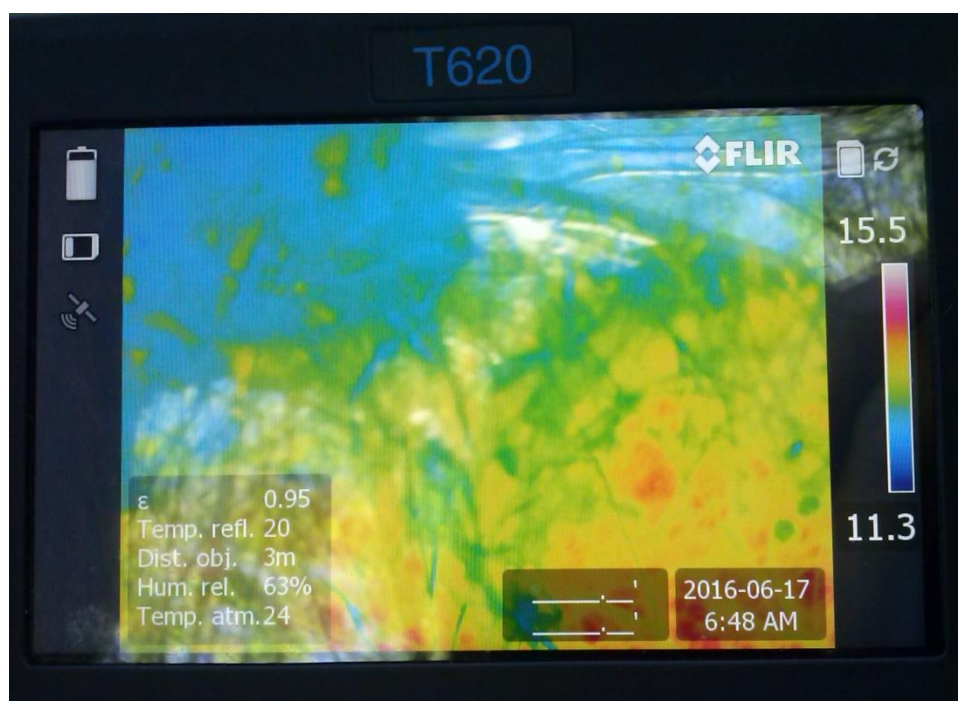


Figura 6. Fotografia da câmara de infravermelhos num ponto de amostragem.

2.4. Influência das árvores no desenvolvimento da pastagem

O sistema agro-silvo-pastoril integra vários subsistemas, entre eles, as árvores (estrato superior), a pastagem (estrato inferior), os animais, o solo e o clima (Fernandes *et al.*, 2006). Estes estratos apresentam diferenças morfológicas, tanto na parte vegetal como no sistema radicular, no entanto, exploram as mesmas fontes de recursos (luz, água e nutrientes) para satisfazerem as suas necessidades de manutenção e desenvolvimento.

Os sistemas agro-silvo-pastoris dão ainda um contributo para o meio ambiente no que diz respeito ao sequestro de carbono, à redução da emissão

de gases de efeito de estufa e ao aumento da biodiversidade vegetal e animal (Reis *et al.*, 2005).

A presença de árvores numa pastagem é sinónimo de sombreamento, deposição gradual no solo de folhas, ramos, flores e frutos (biomassa) o que conduz ao aumento dos teores de matéria orgânica e da fertilidade, com redução significativa da erosão hídrica e eólica e maior capacidade para retenção de água (Carvalho, 2001; Franke e Furtado, 2001).

A copa das árvores tem um papel importante na protecção da pastagem e do solo dos ventos e das chuvas dominantes. Com a diminuição da velocidade do vento, o solo consegue reter humidade durante mais tempo para benefício da pastagem (Fernandes *et al.*, 2006).

As árvores aumentam a fertilidade debaixo da copa à custa do seu sistema radicular muito desenvolvido, conseguindo captar nutrientes em camadas de solo mais profundas, colocando-os ao alcance das plantas que compõem a pastagem (Fernandes *et al.*, 2006).

Reis *et al.* (2005) verificaram que o sombreamento proporcionado pelas árvores levou a um aumento do teor de proteína e à diminuição do teor de matéria seca nas gramíneas, efeito dependente de factores edafo-climáticos e culturais.

Paciullo *et al.* (2011) não encontraram diferenças significativas no que diz respeito aos teores de fibra e, conseqüentemente, de digestibilidade da pastagem em função do sombreamento. No entanto, alertam que com um nível de sombreamento muito elevado as plantas têm tendência a alongar o caule à procura de luminosidade, o que pode resultar em aumentos do teor de fibra.

Carvalho *et al.* (1997), Sousa *et al.* (2010) e Paciullo *et al.* (2011) concluíram que, ao contrário dos constituintes da parede celular, os teores de proteína bruta (PB) variam de forma inversamente proporcional à distância às árvores: o teor de PB é mais elevado debaixo da copa das árvores do que fora desta. O mecanismo que pode contribuir para este facto é o atraso no desenvolvimento vegetativo das plantas que se encontram à sombra. As plantas tendem a ser mais jovens fisiologicamente, o que prolonga a fase vegetativa juvenil e permite a manutenção dos níveis metabólicos mais elevados por um maior período de tempo (Sousa *et al.*, 2010).

O efeito do sombreamento sobre a produção de pastagem depende, no entanto, da densidade das árvores e da densidade da própria copa (Acciaresi *et al.*, 1994; Paciullo *et al.*, 2011). Paciullo *et al.* (2011) mostraram que a redução da intensidade luminosa (sombreamento acima de 35-40%) afecta o crescimento e desenvolvimento das gramíneas, resultando em menor afiliação, menor produção de matéria seca e maior teor proteico da pastagem, o que, segundo Alonso (2011), se deve a um período vegetativo mais longo e uma maturação mais tardia.

3- Material e métodos

3.1- Caracterização do local do estudo

O estudo foi realizado na Herdade Experimental da Mitra da Universidade de Évora, numa parcela vedada com 2,4 ha (coordenadas geográficas 38°62,2'N; 7°94,8'W). A Figura 7 ilustra a parcela em estudo, ocupada por uma pastagem biodiversa sob montado de azinho (*Quercus ilex* ssp. *Rotundifolia* Lam.), semeada em 2013 e submetida a pastoreio permanente de 15 ovelhas adultas de raça *Merino Preto*.

Para concretização dos objectivos deste estudo foram seleccionadas na parcela seis árvores, 3 na zona alta (A1, A2 e A3) e 3 na zona baixa (B1, B2 e B3), identificadas na Figura 7.



Figura 7. Imagem da parcela em estudo; a linha verde representa o limite da parcela; A1, A2 e A3 são as árvores consideradas na zona alta; B1, B2 e B3 são as árvores consideradas na zona baixa.

A Figura 8 ilustra o mapa altimétrico da parcela em estudo, sendo evidente o relevo ondulado característico da região, com uma amplitude de

cotas entre 215 e 219 m. O levantamento topográfico foi realizado com um receptor GNSS (Trimble RTK/PP-4700 GPS, fabricado pela TRIMBLE Navigation Limited, EUA). O mapa foi elaborado por interpolação linear no software “ArcGIS” 10.2 (Esri, Redlands, CA, USA).

Os solos predominantes desta parcela são classificados como solos hidromórficos de aluviões ou coluviais de textura ligeira e aluviosolos modernos de textura ligeira, complexos litólicos não húmicos de granitos ou rochas afins com afloramentos rochosos de granito ou quartzodioritos, predominantemente de textura franco-arenosa e arenosa-franca, com baixos teores de matéria orgânica, ligeiramente ácidos (SROA, 1969).

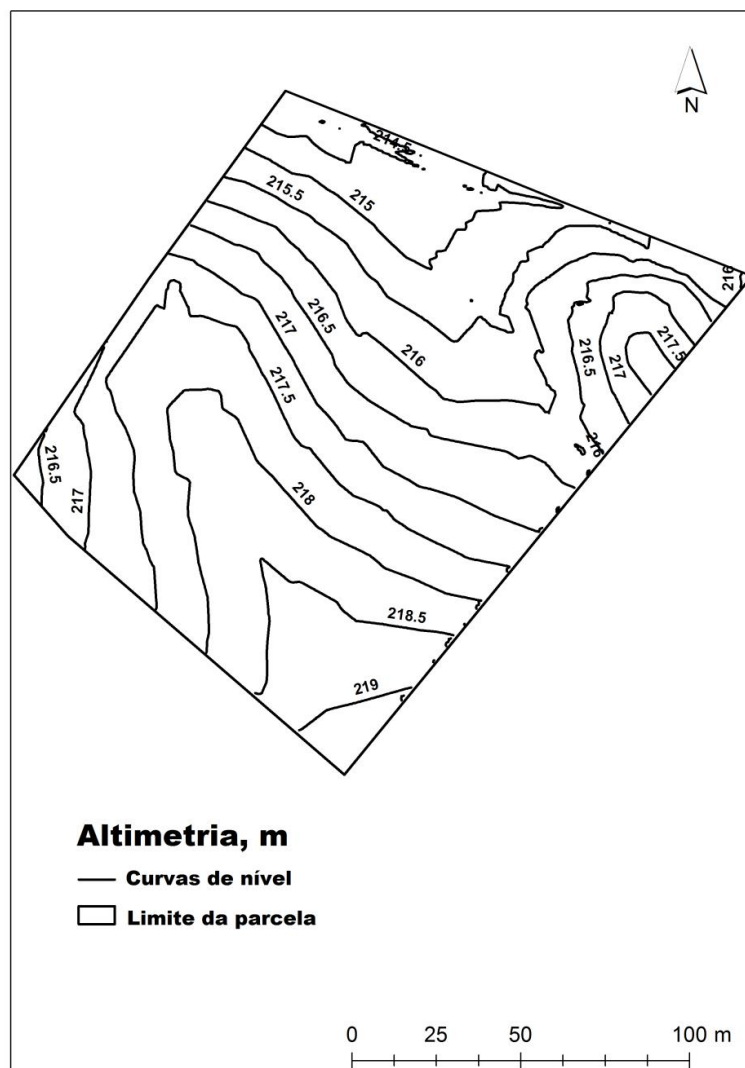


Figura 8. Mapa altimétrico da parcela do campo experimental.

3.2- Caracterização climática

A caracterização climática deste local foi baseada em dados da Estação Meteorológica da Mitra. O clima desta zona é temperado húmido, com um Verão quente e seco e um Inverno e uma Primavera chuvosos, típico do clima Mediterrânico. A temperatura média do mês mais quente (Agosto) é de 31,3°C, e a temperatura média do mês mais frio (Janeiro) é de 3,8°C.

A precipitação concentra-se especialmente nos meses de Janeiro e Fevereiro, com valores médios mensais da ordem dos 100 mm. No Verão a precipitação é praticamente nula. O diagrama termo-pluviométrico referente ao trinténio 1951-1980 é apresentado na Figura 9 (em cima) para servir de base de comparação com o diagrama termo-pluviométrico do ano agrícola 2015/2016 (Figura 9, em baixo), neste caso apenas entre Setembro de 2015 e Junho de 2016, período considerado relevante neste estudo.

A análise dos dois gráficos da Figura 9 mostra, no que respeita à temperatura, que a Primavera de 2016 foi normal, tendo apresentado valores da ordem dos 10,5; 13,5 e 16,0°C, respectivamente em Março, Abril e Maio, muito próximos dos valores médios históricos no período considerado (11,2; 13,4 e 16,7°C, respectivamente).

Em relação à precipitação acumulada desde o início do ciclo vegetativo das plantas, de Setembro a Maio, a média histórica apontava para aproximadamente 600 mm, sendo que no ano agrícola 2015-2016 se registou um valor cerca de 530 mm. No entanto, a distribuição mensal de precipitação apresentou diferenças muito significativas entre o ano agrícola 2015-2016 e a média histórica dos anos 1951-1980. Nos meses de Novembro e Dezembro a precipitação foi claramente inferior ao normal, enquanto no mês de Maio a precipitação atingiu mais de 100 mm, uma situação atípica comparando com a média histórica que ronda os 40 mm. Esta elevada precipitação em Maio tende a prolongar o ciclo vegetativo das plantas em pastagens de sequeiro no Alentejo, influenciando, conseqüentemente, a produção de biomassa (ver Figura 2).

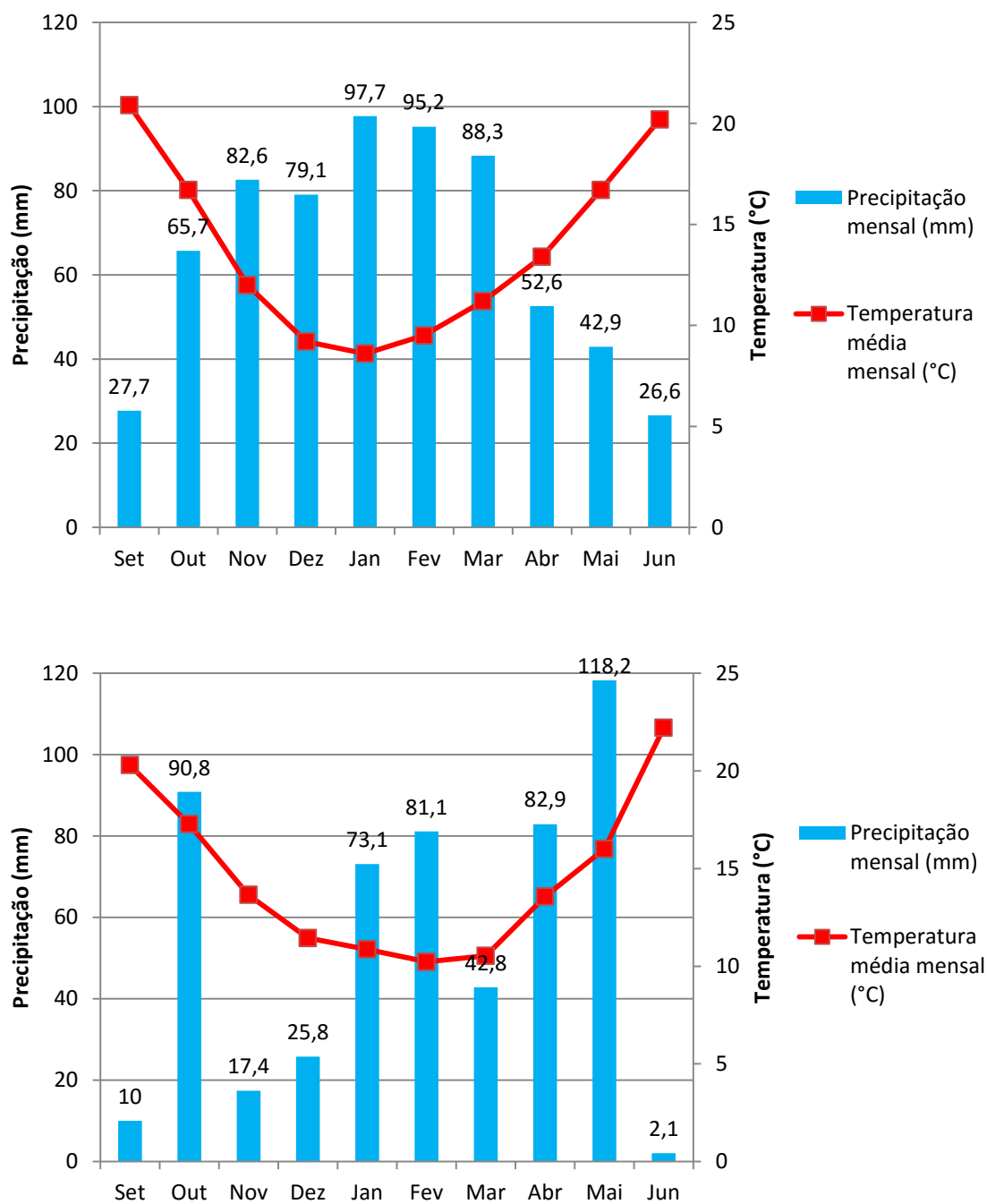


Figura 9. Gráficos termo-pluviométricos referentes ao trinténio 1951-1980 (em cima) e do ano agrícola de 2015/2016 (em baixo); dados da Estação Meteorológica da Mitra.

3.3- Amostragem do solo e da pastagem

O objectivo principal deste estudo centrou-se na avaliação da influência das árvores na evolução do padrão espacial de uma pastagem melhorada de sequeiro, monitorizando o seu desenvolvimento ao longo do ciclo vegetativo.

Em cada árvore foram previamente marcados e geo-referenciados com GPS de precisão quatro pontos de amostragem (referenciados no solo com uma pequena estaca de madeira), de acordo com o diagrama esquemático da Figura 10 (dois com orientação Norte e dois com orientação Sul; dois debaixo da copa e dois fora da copa). Em cada um dos 24 pontos de amostragem foi instalada uma caixa de exclusão de pastoreio em madeira e malha de arame (dimensões: 0,50 m x 0,50 m; Figura 11).

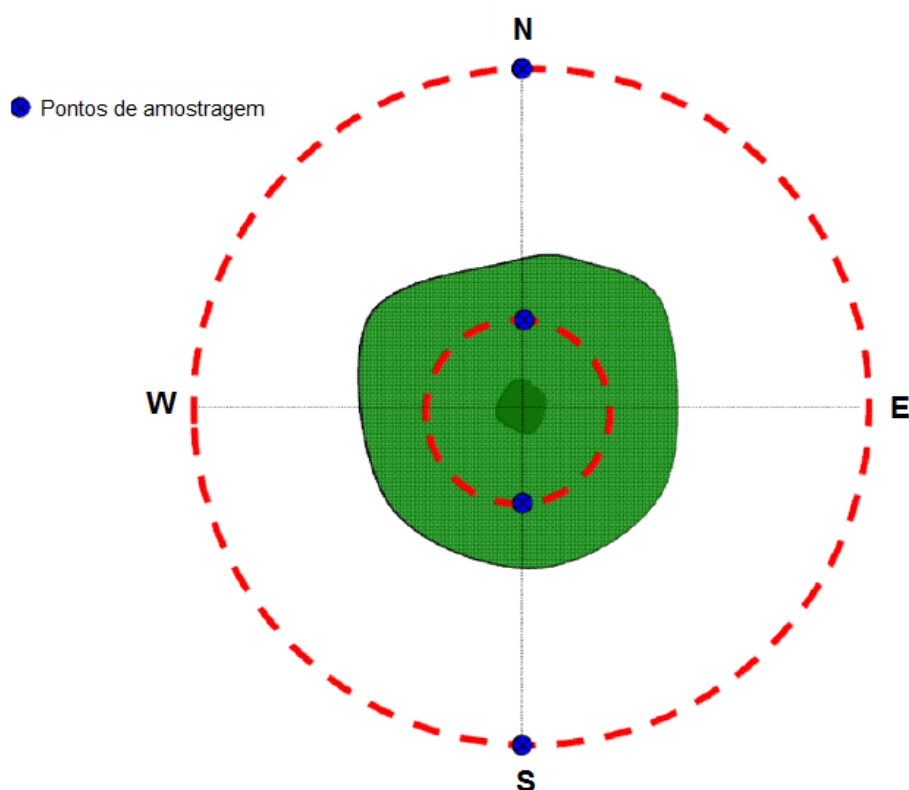


Figura 10. Esquema do posicionamento dos pontos de amostragem debaixo da copa da árvore e fora da mesma, com orientação Norte e Sul (Serrano *et al.*, 2016a).

Em Outubro de 2015 foram recolhidas amostras de solo nos 24 pontos de amostragem. As amostras foram recolhidas na camada superficial do solo (0-0,30 m), tendo sido utilizada uma sonda meia-cana e um maço (Figura 12).

As amostras foram transportadas para o laboratório, desidratadas ao ar e analisadas num sedimentógrafo para determinação da textura (percentagens de areia grossa, areia fina, limo e argila). Foram ainda realizadas análises para

determinação do pH, da matéria orgânica, do azoto total, do fósforo (P_2O_5), do potássio (K_2O), do magnésio (Mg) e do manganês (Mn).



Figura 11. Caixas de exclusão de pastoreio colocadas nos pontos de amostragem.



Figura 12. Sonda meia-cana e maço.

Em cinco momentos, final de Outono (Dezembro), final do Inverno (Março) e mensalmente durante a Primavera (Abril, Maio e Junho), foi monitorizada a humidade do solo e a produtividade e qualidade da pastagem.

A humidade gravimétrica do solo foi determinada a duas profundidades (0-0,20 m e 0,20-0,40 m) a partir da recolha realizada com a sonda meia-cana e maço. As amostras foram transportadas para o laboratório em caixas metálicas, submetidas a pesagem, a que se seguiu a desidratação em estufa a 105°C durante 48 h. A pesagem em seco permitiu determinar o teor de humidade.

A monitorização da pastagem foi realizada em duas fases: primeiro de forma indirecta (através de sensores electrónicos), depois de forma directa (através de corte).

Na amostragem indirecta da pastagem foram utilizados 3 sensores: um sensor óptico activo “OptRx”, uma sonda de capacitância “Grassmaster II” e uma câmara térmica de infravermelhos “ThermaCAM”.

A medição do sensor óptico foi realizada por um operador que numa das mãos segurava o sensor apontando-o para a pastagem e na outra mão o receptor GPS-Trimble (Figura 13), mantendo numa mochila a fonte de energia (uma pequena bateria portátil). O sensor foi mantido aproximadamente à mesma altura do solo (0,75 m) cerca de 1 minuto (a que correspondem 60 registos) em cada ponto de amostragem. Mais detalhe sobre o procedimento com este sensor pode ser encontrado em Serrano *et al.* (2016b).



Figura 13. À esquerda, medição com o sensor “OptRx”; à direita, pormenor do sensor, do receptor GPS e da pequena bateria portátil (Serrano *et al.*, 2016b).

A medição com a sonda de capacitância (Figura 14) consistiu na colocação da sonda na vertical, assente no solo, a uma distância de 0,30-0,40 m do operador (Figura 14). Em cada ponto de amostragem foram registados 10 valores, permitindo ao operador, na consola, calcular a média das medições. Mais detalhe sobre o procedimento com este sensor pode também ser encontrado em Serrano *et al.* (2016b).

A medição da temperatura nos pontos de amostragem foi realizada com a câmara térmica de infravermelhos (Figura 15), colocada a 0,75 m do solo.



Figura 14. À esquerda, medição com a Grassmaster II; à direita, pormenor da consola.



Figura 15. Medições na pastagem com a câmara térmica de infravermelhos.

Concluído este processo de monitorização indirecta com sensores electrónicos, procedeu-se ao corte da pastagem. Em cada ponto de amostragem o operador colocou um aro metálico sobre a pastagem (dimensões: 0,25 m x 0,40 m), delimitando a área de corte a 0,1 m². O corte foi realizado a 1-2 cm de altura do solo, com uma máquina eléctrica portátil (Figura 16), sendo as amostras transportadas para o laboratório em sacos de plástico identificados com o código respectivo.



Figura 16. Corte da pastagem na área de amostragem.

No Laboratório de Pastagens e Tecnologia das Forragens da Universidade de Évora procedeu-se à pesagem, desidratação (durante 72 h a 65°C) e nova pesagem para determinação da produtividade em termos de matéria verde (kg MV/ha) e de matéria seca (kg MS/ha). As amostras desidratadas referentes ao final do Inverno (Março) e à Primavera (Abril, Maio e Junho) foram ainda sujeitas a análise qualitativa no Laboratório de Nutrição e Metabolismo da Universidade de Évora. Neste foram determinadas as cinzas totais, a proteína total e a fibra (NDF) da pastagem, todos em percentagem da matéria seca. No Quadro 1 são apresentados os métodos laboratoriais utilizados nas determinações qualitativas.

Quadro 1. Métodos internacionais para determinação das cinzas totais, da proteína total e da fibra (NDF) da pastagem.

Parâmetro	Norma laboratorial de determinação
Cinza Total	AOAC Official Method 942.05. Ash of animal feed. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA; 2005.
Proteína Total	AOAC Official Method 990.03. Protein (crude) in animal feed, combustion method. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC International, Arlington, VA, USA; 2005.
NDF	Van Soest P.J., J. B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. J. Dairy Science, 74:3583-3597.

3.4- Tratamento estatístico dos dados

Procedeu-se à análise estatística, para cada conjunto de dados dos parâmetros do solo e da pastagem avaliados.

O tratamento estatístico dos resultados consistiu em análises de variância (ANOVA) e equações de regressão simples. Utilizou-se o *software* “MSTAT-C” com um grau de significância de 95% ($p < 0,05$). Procedeu-se à análise de regressão linear para estudar as relações entre os parâmetros do solo e da pastagem, sendo apresentados os coeficientes de correlação de Pearson (r) para as regressões estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Os dados obtidos através dos métodos indirectos (sensor óptico “OptRx” e sonda de capacitância “Grassmaster II”), foram processados em Excel para análise estatística descritiva (média e desvio padrão).

Foi utilizado ainda o sistema de informação geográfica “ArcGIS” para elaboração do mapa altimétrico da parcela.

4- Resultados e discussão

4.1- Variabilidade dos parâmetros do solo

Os constituintes do solo, macro e micro nutrientes, são a fonte de alimento das plantas e o seu suporte de vida. A água, absorvida pelas raízes, é o meio de transporte dos nutrientes do solo até ao interior das plantas. Um solo fértil e com humidade, associado a temperaturas adequadas constituem as condições ideais para o desenvolvimento e crescimento da pastagem. O ciclo dos nutrientes numa pastagem pastoreada, iniciado pela extracção pelas plantas, fecha-se com a restituição ao solo através da deposição dos excrementos dos animais.

4.1.1- Nutrientes

As árvores inseridas na pastagem potenciam aos agricultores mais uma fonte de rendimento, no caso do montado de sobre a cortiça e no caso do montado de azinho o suplemento alimentar para os animais no período do Outono proporcionado pelas bolotas. Sob coberto as plantas beneficiam da protecção dada pelas árvores e estas podem beneficiar também pela capacidade das leguminosas das pastagens biodiversas fixarem o azoto atmosférico incorporando-o no solo, proporcionando ainda uma camada de protecção contra a erosão. Solo, árvores, pastagens e animais, quando geridos de forma sustentável, constituem um ecossistema com potencial para preservar o meio ambiente.

O Quadro 2 apresenta os valores médios, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a significância dos parâmetros do solo avaliados no conjunto de amostras recolhidas debaixo da copa (DC) das árvores e fora da copa das árvores (FC).

Quadro 2. Influência das árvores nos parâmetros do solo.

Parâmetros	DC (média±DP)	FC (média±DP)	CV (%)	Significância
Argila, %	9,4±0,9	10,1±3,5	27,8	ns
MO, %	3,1±0,5	1,7±0,4	17,8	**
pH	5,4±0,4	5,3±0,2	5,4	ns
N _t , %	0,16±0,03	0,09±0,03	22,0	**
P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	117,7±73,7	68,2±28,2	62,9	*
K ₂ O, mg kg ⁻¹	359,3±108,0	180,5±88,0	39,9	**
Mg, mg kg ⁻¹	115,0±37,2	76,3±39,1	46,3	*
Mn, mg kg ⁻¹	16,2±7,0	11,8±4,9	38,4	ns

DC- debaixo da copa; FC- fora da copa; DP- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; MO- matéria orgânica; N_t- azoto total; P₂O₅- fósforo; K₂O- potássio; Mg- magnésio; Mn- manganês; ns- diferenças não significativas; * e **- diferenças significativas (respectivamente p<0,05 e p<0,01)

De todos os parâmetros analisados, apenas o teor de argila, o pH e o manganês não apresentaram diferenças significativas nas duas situações em estudo (DC vs FC). O solo debaixo da copa das árvores apresentou, relativamente ao solo fora da copa das árvores, sistematicamente valores mais elevados nos restantes parâmetros avaliados. Estes resultados, genericamente, estão de acordo com o trabalho publicado por Gómez-Rey *et al.* (2012). Em particular, os teores mais elevados de matéria orgânica (MO) no solo debaixo da copa das árvores vão ao encontro dos resultados de Sousa *et al.* (2010). Teixeira *et al.* (2011) referem que a deposição no solo de folhas e ramos que caem das árvores favorecem o aumento da MO, no entanto, segundo estes autores, não explicam na totalidade o aumento da MO e outros elementos do solo. A maior permanência dos animais em repouso na sombra das árvores, onde concentram maior quantidade de excrementos, pode explicar a acumulação de maior quantidade de MO nestas zonas da parcela (Serrano *et al.*, 2016b). A mesma razão foi apontada por Serrano *et al.* (2014b) para justificar a clara riqueza em fósforo ou potássio do solo debaixo da copa das árvores.

4.1.2- Humidade no solo ao longo do ciclo vegetativo da pastagem

A humidade no solo varia ao longo do ano, em função das características do próprio solo (nomeadamente a textura) e do binómio temperatura-precipitação, sendo o regime de precipitação caracterizado no clima Mediterrânico por grande irregularidade. No Quadro 3 apresentam-se os valores da humidade no solo a duas profundidades (0-0,20 m e 0,20-0,40 m), determinada entre Outubro de 2015 e Junho de 2016.

Quadro 3. Humidade no solo (em %) ao longo do ensaio, a duas profundidades (0-0,20 m e 0,20-0,40 m).

Data	Média \pm DP	CV	Intervalo de Variação
<i>29/10/2015</i>			
0-0,20 m	12,9 \pm 3,7	28,8	[8,7-25,4]
0,20-0,40 m	-	-	-
<i>21/12/2015</i>			
0-0,20 m	7,3 \pm 3,3	46,0	[4,3-18,7]
0,20-0,40 m	6,8 \pm 2,5	37,2	[3,2-11,9]
<i>15/03/2016</i>			
0-0,20 m	9,1 \pm 2,7	30,0	[5,4-17,7]
0,20-0,40 m	12,9 \pm 5,4	41,6	[6,0-24,0]
<i>28/04/2016</i>			
0-0,20 m	12,6 \pm 2,3	18,7	[7,2-17,0]
0,20-0,40 m	9,8 \pm 1,6	16,5	[7,0-12,4]
<i>25/05/2016</i>			
0-0,20 m	9,2 \pm 2,2	23,8	[5,4-14,9]
0,20-0,40 m	9,7 \pm 2,0	19,8	[5,3-13,0]
<i>16/06/2016</i>			
0-0,20 m	5,2 \pm 1,5	28,1	[2,2-8,1]
0,20-0,40 m	4,2 \pm 1,5	35,8	[2,2-7,6]

Em Outubro a recolha mais superficial (0-0,20 m) registou níveis de humidade com alguma importância para o começo de um novo ciclo vegetativo das plantas, o que reflecte a precipitação acumulada (84,8 mm em Outubro; Figura 17). Com o avançar dos meses, a menor ocorrência de precipitação acumulada em Novembro e Dezembro (respectivamente, 17 e 26 mm), levou à

diminuição significativa da humidade do solo em Dezembro. O período entre Novembro e Fevereiro, marcado por baixas temperaturas, representa uma fase característica de fraco desenvolvimento da pastagem.

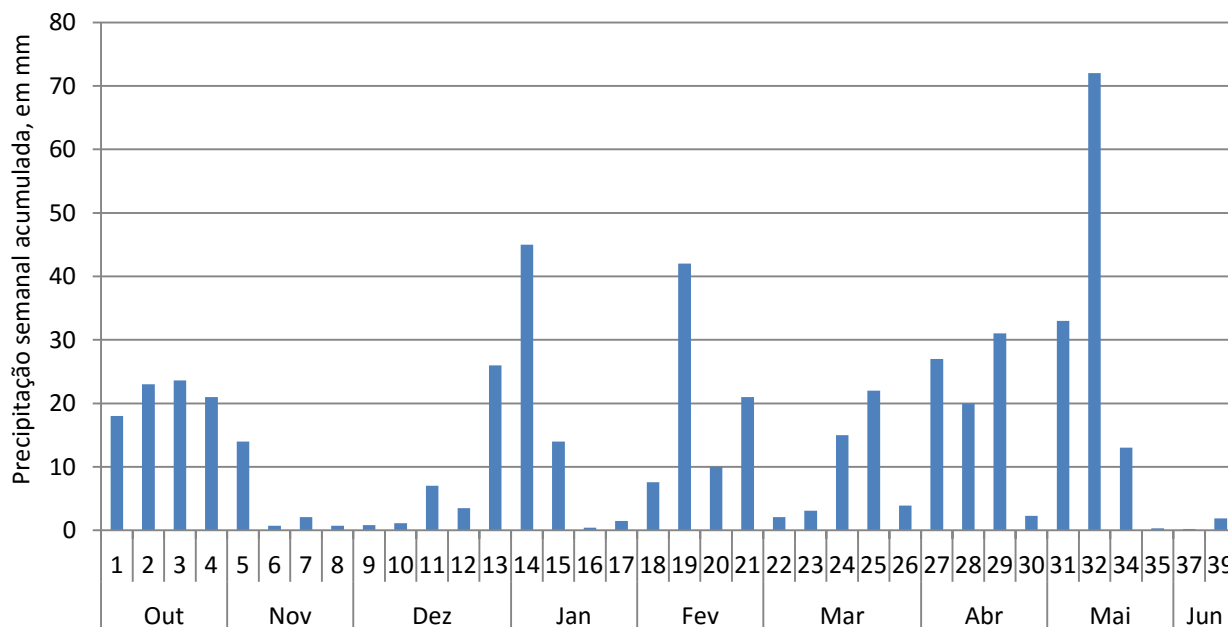


Figura 17. Precipitação semanal (numeração nas abcissas) acumulada ao longo dos meses de ensaio (39 semanas).

Por outro lado, a Primavera foi relativamente chuvosa, com precipitações elevadas em Abril e Maio (respectivamente, 83 e 118 mm), o que permitiu manter um nível razoável de humidade no solo até ao final de Maio, aspecto que, conjugado com temperaturas diárias próximas dos 20°C terá sido muito favorável, sustentando o prolongar do ciclo vegetativo da pastagem de sequeiro.

A Figura 18 ilustra a influência das árvores na humidade do solo ao longo do ensaio, para as duas profundidades de amostragem consideradas.

No mês de Dezembro os valores foram semelhantes em ambas as profundidades, verificando-se, em ambos os casos, maior teor de humidade no solo fora da copa das árvores. Em Março e Abril não se registaram diferenças significativas nas duas situações em estudo (DC vs FC). Em Maio e Junho a humidade foi superior debaixo da copa das árvores, uma vez que a subida da

temperatura tende a fazer aumentar também a evapotranspiração, em especial nas zonas da pastagem fora da copa das árvores (Debruyne *et al.*, 2011).



ns- Diferenças não significativas; **- diferenças significativas (respectivamente $p < 0,05$ e $p < 0,01$)
 Figura 18. Influência das árvores na humidade do solo: em cima, profundidade 0-0,20 m; em baixo, profundidade 0,20-0,40 m.

Ao nível do solo, as zonas debaixo das árvores, por não estarem directamente expostas à radiação solar, também não perdem tanta água por evaporação, em comparação com o solo exposto directamente à radiação solar. Também Kallenbach *et al.* (2006) confirmam os resultados obtidos neste trabalho, reforçando a ideia de que a pastagem, no final da Primavera, quando

as temperaturas começam a aumentar, sob efeito da sombra das árvores pode reduzir a evapotranspiração e, assim, diminuir o risco de stress hídrico e de secagem, ao contrário do que acontece com a pastagem fora da copa das árvores. Este efeito das árvores na manutenção de teores mais elevados de humidade no solo pode garantir condições que permitam atenuar o inevitável stress hídrico, prolongando o ciclo vegetativo da pastagem, com vantagens para a qualidade do alimento proporcionado aos animais.

4.2- Monitorização da pastagem ao longo do ensaio

O desenvolvimento das pastagens de sequeiro no Alentejo reflecte a conjugação da temperatura do ar e da precipitação. A irregularidade climática, característica do clima Mediterrânico, especialmente ao nível da precipitação, condiciona em cada ano a evolução da pastagem. O Quadro 4 resume a evolução de parâmetros indicadores da produtividade e da qualidade da pastagem ao longo do ensaio. Os parâmetros avaliados mostram a evolução típica da pastagem de sequeiro no Alentejo. Assim, é possível constatar durante o Outono e Inverno um crescimento lento, resultado das baixas temperaturas que se fazem sentir. A partir da Primavera, com a subida gradual da temperatura do ar e com a humidade do solo, a pastagem atinge um desenvolvimento vegetativo acelerado. No início do Verão, apesar das temperaturas serem favoráveis, a escassez de água no solo leva à quebra da produtividade, conduzindo ao final do ciclo vegetativo da cultura.

Quadro 4. Evolução de parâmetros indicadores da produtividade e da qualidade da pastagem ao longo do ensaio.

Parâmetros	Datas	Média ±DP	CV, %	Intervalo de variação
MV	21/12/2015	2840±3010	105,9	[0-9280]
	15/03/2016	11426±6195	54,2	[1920-29700]
	28/04/2016	16903±8090	47,9	[6170-37530]
	25/05/2016	24148±13298	55,1	[7010-52290]
	16/06/2016	11003±6347	57,7	[1440-25920]
MS	21/12/2015	431±438	101,7	[0-1190]
	15/03/2016	1550±665	42,9	[350-2720]
	28/04/2016	2395±1068	44,6	[1030-4520]
	25/05/2016	3166±988	31,2	[1400-5840]
	16/06/2016	4277±2368	55,4	[610-9820]
Cinzas	15/03/2016	13,3±3,7	27,7	[10,2-28,0]
	28/04/2016	10,7±1,5	14,2	[8,2-13,9]
	25/05/2016	8,4±1,4	16,7	[6,2-12,1]
	16/06/2016	8,6±3,1	36,4	[5,8-20,7]
PB	15/03/2016	13,8±2,8	20,2	[8,7-19,8]
	28/04/2016	11,9±3,3	27,8	[6,5-22,2]
	25/05/2016	10,3±2,9	28,8	[5,1-17,5]
	16/06/2016	7,6±2,4	31,9	[4,1-14,5]
NDF	15/03/2016	38,1±5,2	13,5	[29,5-50,2]
	28/04/2016	52,9±5,7	10,8	[43,1-64,3]
	25/05/2016	64,0±4,3	6,6	[53,7-74,1]
	16/06/2016	66,8±5,9	8,8	[55,3-78,3]
NDVI	16/11/2015	0,663±0,11	16,4	[0,30-0,79]
	21/12/2015	0,708±0,10	13,8	[0,47-0,83]
	16/02/2016	0,816±0,03	4,6	[0,72-0,87]
	15/03/2016	0,776±0,06	7,6	[0,63-0,85]
	28/04/2016	0,728±0,05	7,6	[0,62-0,83]
	25/05/2016	0,645±0,06	8,7	[0,53-0,75]
	16/06/2016	0,315±0,08	25,4	[0,14-0,45]
21/07/2016	0,212±0,01	4,6	[0,19-0,23]	
Capacitância	21/12/2015	2717±2059	75,7	[0-6321]
	16/02/2016	5567±1346	24,2	[3543-8353]
	15/03/2016	6991±1839	26,3	[3453-10731]
	28/04/2016	8564±2056	24	[4760-12153]
	25/05/2016	7497±2114	28,2	[3922-11294]
	16/06/2016	5735±1912	33,3	[3400-10861]
Temperatura da pastagem	05/11/2015	17,6±0,5	3,1	[18,0-30,1]
	21/12/2015	10,0±1,1	11,4	[11,4-19,4]
	15/03/2016	10,9±1,0	9,1	[13,1-19,8]
	28/04/2016	14,0±1,7	11,9	[11,5-17,7]
	25/05/2016	15,3±1,4	9,3	[9,2-13,3]
	16/06/2016	16,1±1,7	10,8	[8,3-12,8]
21/07/2016	24,6±3,4	13,8	[16,2-18,3]	

DP- desvio padrão; CV- coeficiente de variação

4.3- Efeito das árvores na pastagem

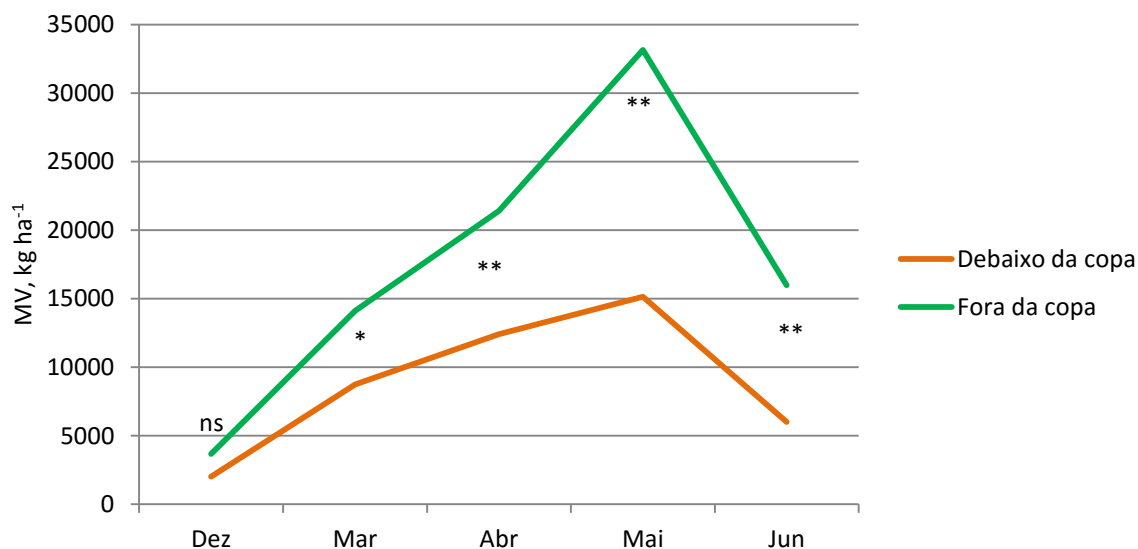
No início do ciclo vegetativo, quando as temperaturas são mais baixas, as árvores exercem um efeito de protecção da pastagem perante condições ambientais adversas. Segundo Kallenbach *et al.* (2006) a influência das árvores na pastagem resulta numa diminuição de produção de biomassa por hectare, o que é compensado com uma melhor qualidade da mesma. Gómez-Rey *et al.* (2012) sustentam que o solo debaixo da copa das árvores é mais denso e com menor porosidade, em resultado da maior compactação causada pelos animais. Esta situação debaixo das árvores pode ser responsável por uma maior dificuldade no desenvolvimento radicular o que, associado à menor incidência da luz, pode justificar o menor desenvolvimento das plantas. Por outro lado, Gómez-Rey *et al.* (2012) e Sousa *et al.* (2010) referem que a reciclagem do azoto e teores de MO elevados debaixo da copa das árvores podem influenciar positivamente a concentração de PB nas plantas.

4.3.1- Influência das árvores na produtividade da pastagem

- **Matéria verde (MV)**

A Figura 19 mostra a evolução da produtividade da pastagem, em termos de MV, entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016 e nas duas situações em estudo (DC vs FC). É possível verificar que em ambas as situações ocorreu um aumento gradual da MV da pastagem até Maio. Em Junho, com o aumento acentuado das temperaturas e a drástica diminuição da precipitação, as plantas começaram a secar e os teores de MV decresceram.

A Figura 19 permite também verificar que a produtividade da pastagem foi significativamente superior fora do efeito da copa das árvores ao longo de toda a Primavera. Estes resultados estão de acordo com o estudo de Sharrow (1991), o qual demonstrou que árvores muito desenvolvidas, com copas muito densas, influenciam negativamente a produção de pastagem. Na avaliação da pastagem em Dezembro, o elevado CV (105,9%) revela a grande heterogeneidade deste parâmetro, o que pode justificar a não existência de diferenças significativas nas duas situações em estudo.

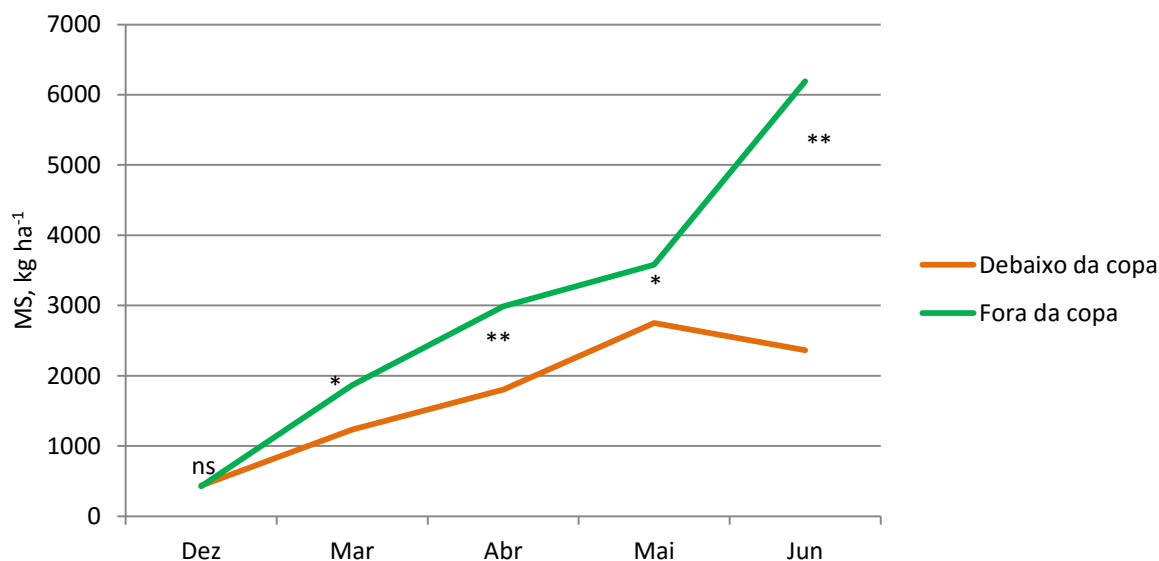


ns – Diferenças não significativas; * Diferenças significativas ($p < 0,05$); ** Diferenças altamente significativas ($p < 0,01$)
 Figura 19. Efeito das árvores na evolução da matéria verde (MV) da pastagem.

- **Matéria seca (MS)**

A evolução da matéria seca da pastagem da parcela em estudo (Figura 20) mostrou valores mais elevados fora da copa das árvores a partir de Março, verificando-se nestes locais um acréscimo progressivo ao longo de todo o período de amostragem (entre Dezembro e Junho). Por outro lado, debaixo da copa das árvores este aumento aconteceu apenas até Maio, tendo a produtividade da pastagem nestes locais diminuído na amostragem de Junho.

As produtividades mais baixas verificadas debaixo da copa das árvores foram também documentadas noutros estudos. DeBruyne *et al.* (2011) obtiveram teores de MS inferiores em 25% com festuca cultivada com 70% de sombreamento, quando comparados com os teores de MS de festuca sem sombreamento. Também Peri *et al.* (2007) comprovaram a diminuição da produtividade da pastagem numa parcela com muitas árvores devido ao sombreamento. Este efeito é justificado pelo menor crescimento das plantas e por estas apresentarem caules mais delgados (Reis *et al.*, 2005; Paciullo *et al.*, 2011).



ns – Diferenças não significativas; * Diferenças significativas ($p < 0,05$); ** Diferenças altamente significativas ($p < 0,01$)

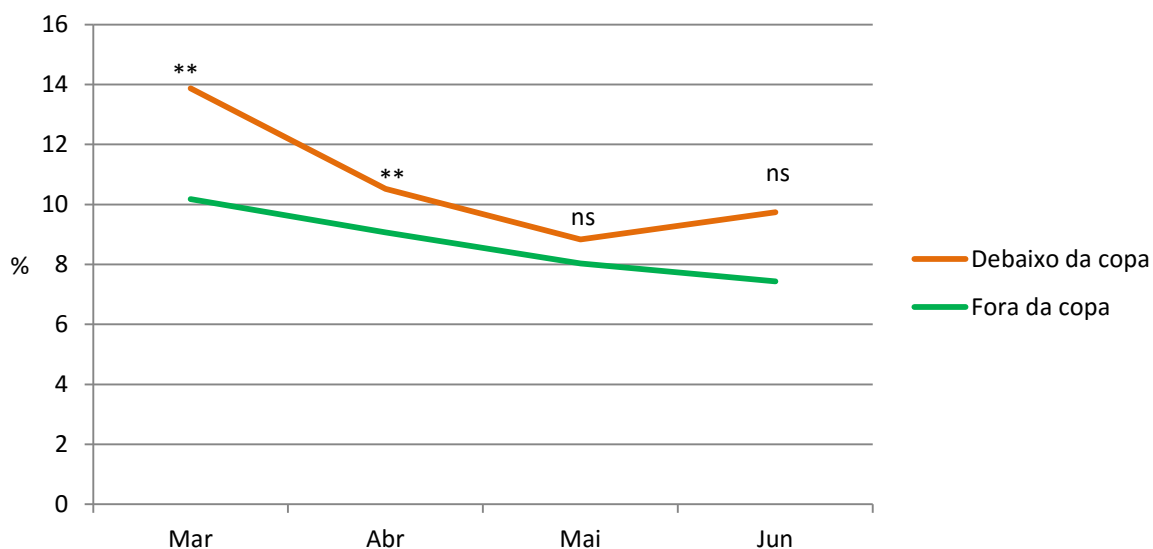
Figura 20. Efeito das árvores na evolução da matéria seca (MS) da pastagem.

Os estudos realizados por Andrade *et al.* (2002), Carvalho *et al.* (2002) e Sousa *et al.* (2007) confirmam os resultados obtidos neste estudo no que se refere à quebra significativa de produção das gramíneas (em termos de MS) no tratamento sujeito à sombra das árvores em relação ao tratamento fora do efeito da copa das árvores. Contudo, de acordo com Carvalho *et al.* (2002), as gramíneas debaixo da copa das árvores apresentaram maior digestibilidade do que as gramíneas expostas não sujeitas a sombreamento.

4.3.2- Influência das árvores na qualidade da pastagem

- **Cinzas Totais (CT)**

A Figura 21 apresenta a evolução dos valores de CT na pastagem entre Março e Junho de 2016. A pastagem tende a apresentar teores mais elevados de cinzas debaixo da copa das árvores, com diferenças significativas no início da Primavera (Março e Abril). Os teores de CT estão relacionados directamente com os seus teores de celulose e lenhina.



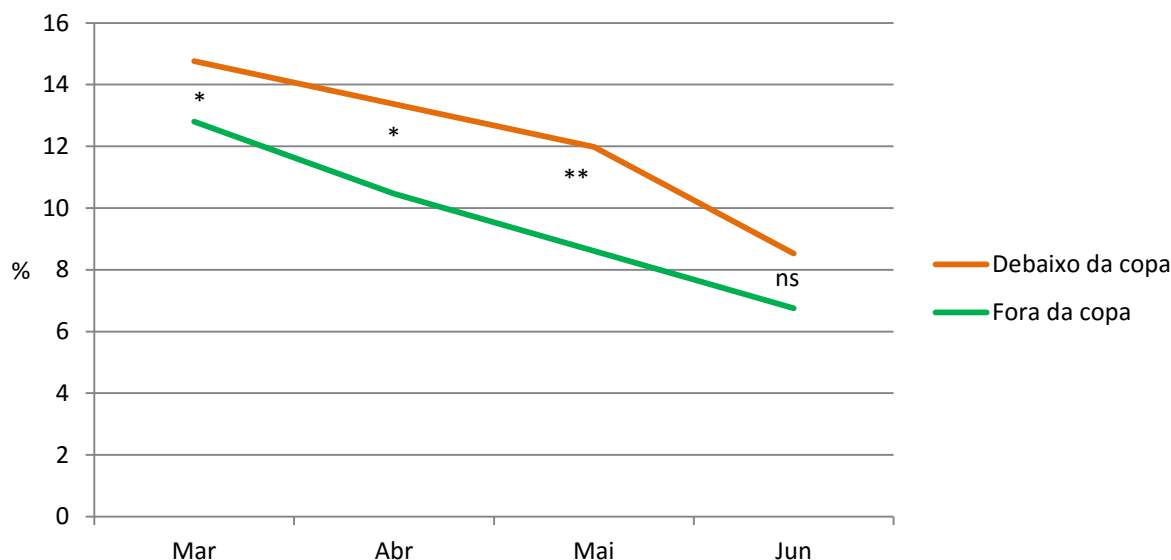
ns – Diferenças não significativas; ** Diferenças altamente significativas ($p < 0,01$)

Figura 21. Efeito das árvores na evolução do teor de cinzas totais (CT) da pastagem.

• Proteína Bruta (PB)

A Figura 22 apresenta a evolução dos valores de PB na pastagem entre Março e Junho de 2016. À medida que a pastagem se foi desenvolvendo, com o avançar da Primavera, por influência da subida das temperaturas e da diminuição da humidade no solo, a PB diminuiu gradualmente. Foi também evidente o efeito positivo das árvores sobre este parâmetro e, consequentemente, sobre a qualidade da pastagem, com maior percentagem de PB debaixo da copa das árvores (diferenças significativas entre Março e Maio). De acordo com Reis *et al.* (2005), Kallenbach *et al.* (2006), Peri *et al.* (2007) e Paciullo *et al.* (2011), este aumento do teor de PB é consequência directa do sombreamento. Sousa *et al.* (2010) referem que em solos com baixos teores de azoto este efeito é mais visível em consequência dos teores mais elevados de matéria orgânica debaixo da copa das árvores e da reciclagem do azoto no solo. Os mesmos autores defendem ainda que teores mais elevados de PB na pastagem podem estar relacionados com o atraso no desenvolvimento ontogénico das plantas que se encontram à sombra, mantendo-se mais jovens fisiologicamente e permitindo a manutenção dos níveis metabólicos mais elevados por um período de tempo mais prolongado. Carvalho *et al.* (2002) argumentam que esta superior concentração de PB pode

ser resultado da menor produção de matéria seca por parte das plantas quando sujeitas a sombreamento. Martins (2015) também verificou maior concentração de PB na pastagem debaixo da copa das árvores do que na restante parcela.

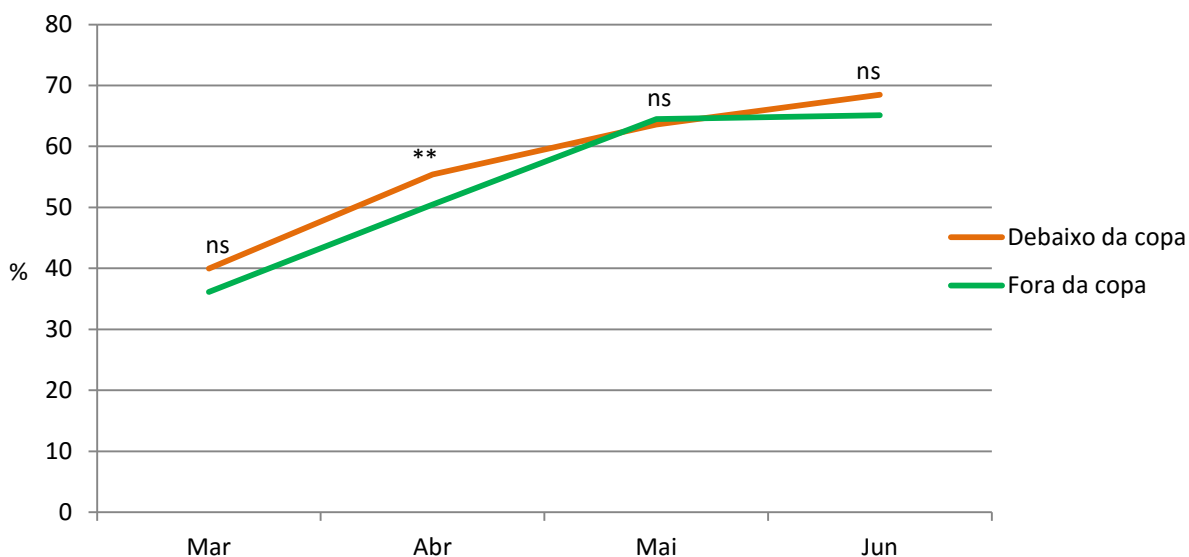


ns – Diferenças não significativas; * Diferenças significativas ($p < 0,05$); ** Diferenças altamente significativas ($p < 0,01$)
Figura 22. Efeito das árvores na evolução da proteína bruta (PB) da pastagem.

• Fibra Bruta (NDF)

A fibra é um elemento que está presente em toda a alimentação animal, especialmente ao nível dos ruminantes, onde é importante para a ruminação, regulação do trânsito intestinal e ainda como fonte energética para as necessidades fisiológicas.

A Figura 23 apresenta a evolução dos valores de fibra na pastagem entre Março e Junho de 2016. É possível verificar um contínuo aumento dos teores de fibra da pastagem entre Março e Junho, praticamente sem diferenças significativas entre as situações em estudo (DC vs FC), o que está de acordo com os resultados obtidos por Kallenbach *et al.* (2006), Sousa *et al.* (2010) e Paciullo *et al.* (2011).



ns – Diferenças não significativas; ** Diferenças altamente significativas ($p < 0,01$)

Figura 23. Efeito das árvores na evolução dos teores de NDF da pastagem.

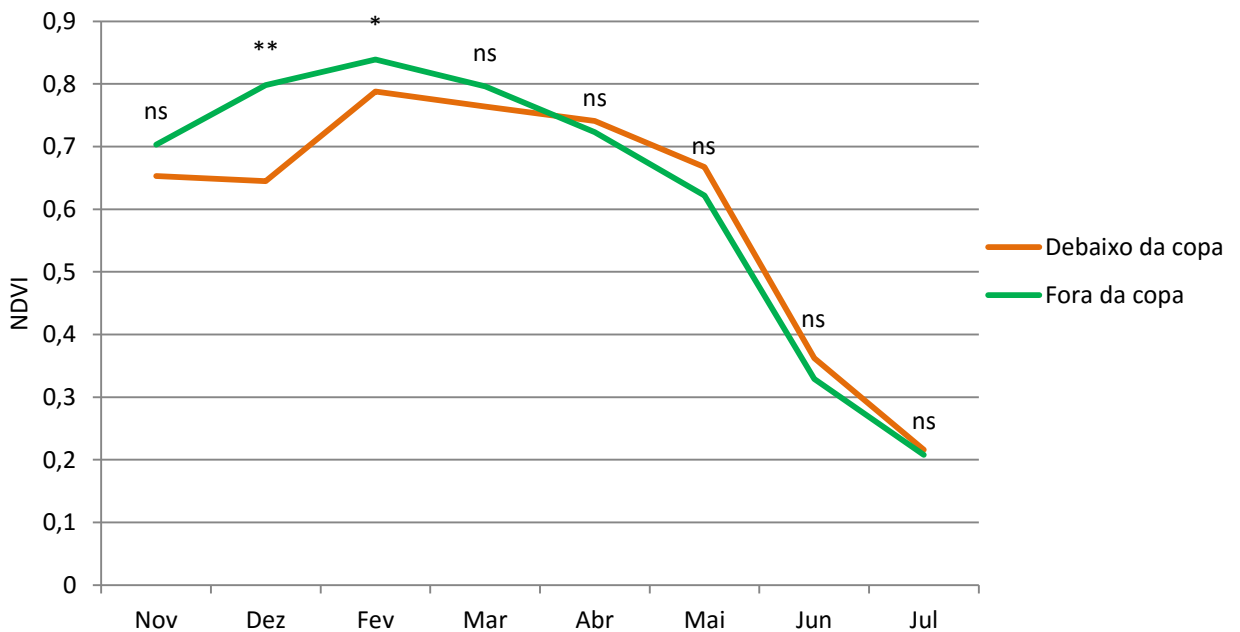
4.3.3- Influência das árvores no índice de vegetação da pastagem (NDVI)

Esta análise pretendeu avaliar a possibilidade de utilizar técnicas expeditas (técnicas de AP) para monitorizar o desenvolvimento da pastagem. Posteriormente procurou-se, através do estabelecimento de correlações, relacionar parâmetros da pastagem (medição directa da produtividade ou da qualidade) com os dados recolhidos no campo, neste caso pelo sensor óptico. A identificação das correlações significativas pode abrir as portas a estudos de calibração de tecnologias e de técnicas para simplificação do processo de amostragem.

Os índices de vegetação são indicadores do estado fisiológico das plantas. Valores de NDVI mais elevados (próximos de 1) significam que há uma grande cobertura de plantas fotossinteticamente activas, os quais devem relacionar-se com locais de maior produção de pastagem (Dusseux *et al.*, 2015; Martins, 2015).

A Figura 24 ilustra a evolução do NDVI entre Novembro de 2015, (no arranque vegetativo da pastagem) e Julho de 2016 (depois do final do ciclo vegetativo da pastagem), com um pico em Fevereiro e depois um decréscimo contínuo até ao Verão, reflectindo a evolução e maturação normal das plantas. Na comparação debaixo da copa *versus* fora da copa apenas se verificaram

diferenças significativas em Dezembro de 2015 e em Fevereiro de 2016, com valores de NDVI mais elevados na pastagem fora da copa das árvores, o que poderá revelar um estado mais avançado de desenvolvimento da pastagem por efeito da exposição solar e, conseqüentemente, maior densidade de cobertura vegetal do solo. Estes resultados estão de acordo com os trabalhos de Peri *et al.* (2007), que registaram valores de índice de área foliar mais elevados nas pastagens expostas à radiação solar.



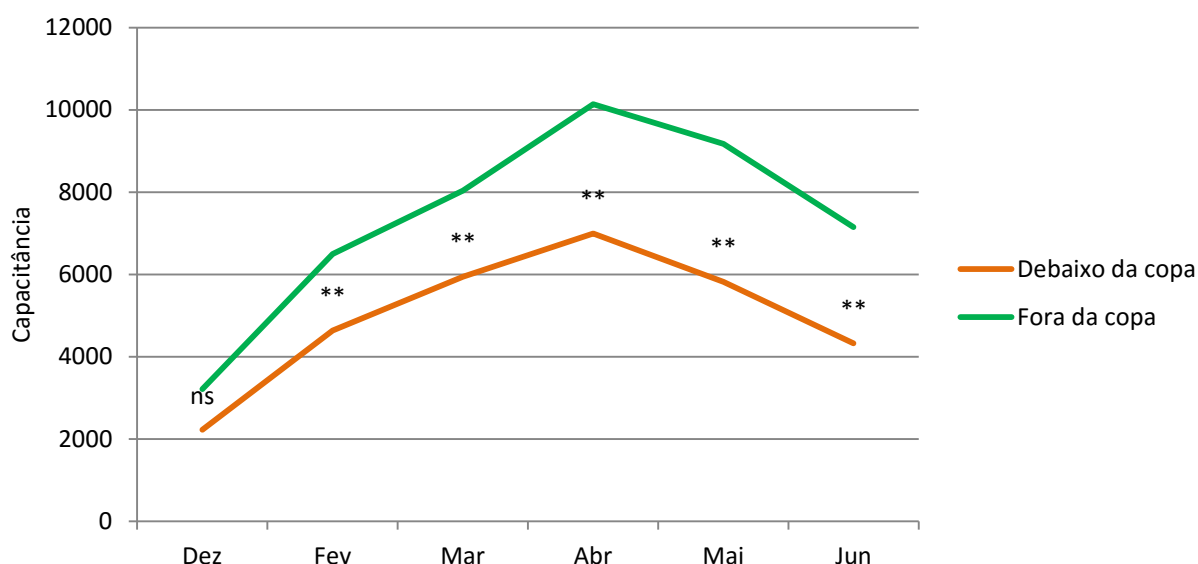
ns – Diferenças não significativas; * Diferenças significativas ($p < 0,05$); ** Diferenças altamente significativas ($p < 0,01$)
 Figura 24. Efeito das árvores nos índices de vegetação (NDVI) da pastagem.

4.3.4- Influência das árvores na capacitância

Tal como aconteceu com as medições realizadas com o sensor óptico activo “OptRx”, pretendeu-se com a utilização da sonda de capacitância “Grassmaster II” avaliar a possibilidade de monitorizar o desenvolvimento da pastagem. Devem assinalar-se algumas condicionantes à utilização desta sonda. Assim, quando a pastagem se encontra com humidade exterior (resultante da precipitação ou do orvalho), deve evitar-se a sua utilização, caso contrário exige sistemáticas calibrações, o que resulta num processo demorado. Por outro lado, no caso da parcela em estudo, atendendo a que a carga animal foi relativamente baixa (cerca de 6 ovinos/ha), grande parte da

pastagem não foi pastoreada exaustivamente pelos animais, pelo que, depois de seca, a pastagem residual formou uma camada isolante sobre o solo, a qual dificulta as medições. Estes factores podem ter sido responsáveis pelo elevado CV registado em Dezembro (da ordem dos 70%), o que demonstra a grande heterogeneidade da pastagem e está de acordo com outros estudos nomeadamente o de Hirata (2000) e o de Serrano *et al.* (2009b), com CV de 88 e 67%, respectivamente.

Na Figura 25 é apresentada a evolução dos valores médios de capacidade da pastagem medida debaixo e fora da copa das árvores entre Dezembro de 2015 e Junho de 2016. Entre Fevereiro e Junho de 2016 registaram-se diferenças significativas, com valores mais elevados fora da copa das árvores, o que reflecte a produtividade da pastagem.



ns – Diferenças não significativas; ** Diferenças altamente significativas ($p < 0,01$)

Figura 25. Efeito das árvores nas medições de capacidade da pastagem.

4.3.5- Influência das árvores na temperatura da pastagem

A temperatura da pastagem ao longo do ciclo vegetativo foi determinada pela análise das fotografias térmicas dos pontos amostrados. É uma tecnologia não-invasiva e não-destrutiva, rápida e permite trabalhar a diferentes escalas, desde plantas muito pequenas a árvores. Os dados são obtidos em tempo real o que gera uma informação quantitativa sobre a heterogeneidade das culturas,

para além da facilidade de determinar o stress hídrico das plantas (Jones e Vanghan, 2011).

Os baixos CV das medições (inferiores a 10%, Quadro 1) mostram uma grande homogeneidade dos dados recolhidos.

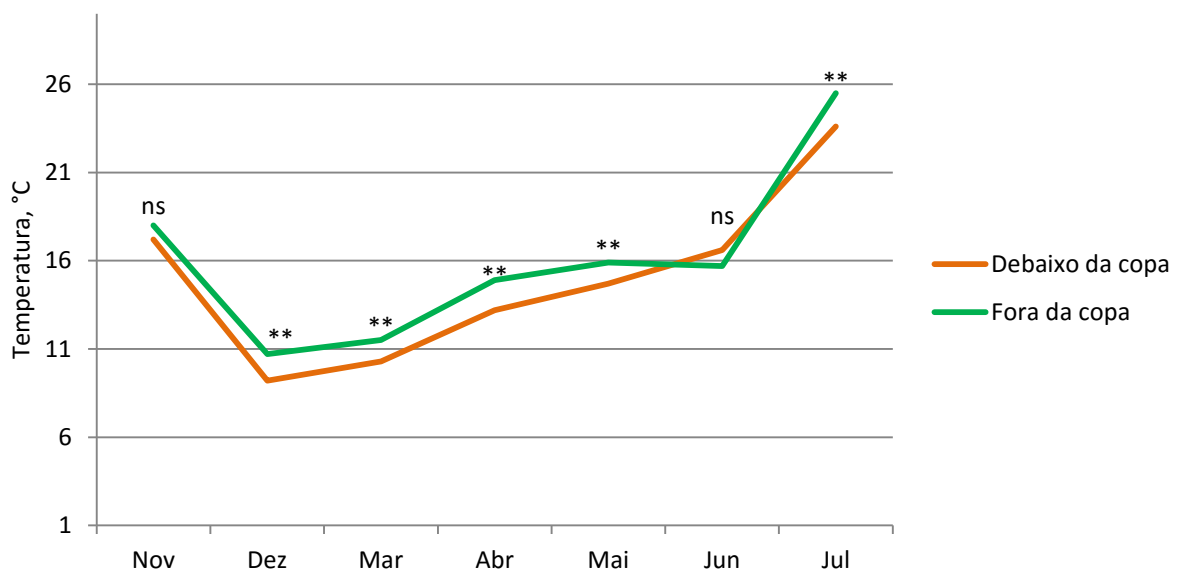
Na Figura 26 é apresentada uma fotografia da pastagem em estudo onde é possível diferenciar o aspecto debaixo e fora da copa das árvores. Neste caso, debaixo da copa a pastagem é relativamente homogénea, na sua maioria composta pela espécie botânica *Erodium moschatum* (*Agulha-de-pastor-moscada*), não tendo entrado ainda em floração, o que contrasta com a pastagem sem influência das árvores, que já estava num estágio vegetativo mais avançado, constituída na maioria por *Diplotaxis catholica* (*Crizandra*) e *Chamaemelum mixtum* (*Margaça*). Esta diferenciação reflecte-se, naturalmente, na temperatura da pastagem.



Figura 26. Fotografia da pastagem diferenciada debaixo (DC) e fora da copa (FC) da árvore.

A Figura 27 permite verificar o efeito das árvores sobre a temperatura da pastagem nas duas situações em estudo, sendo assinaladas as diferenças

significativas. A temperatura da pastagem apresentou tendência para atingir valores mais elevados fora da copa das árvores, local onde as plantas estão mais expostas à radiação solar, a qual induz maiores níveis de evapotranspiração da superfície das folhas (Costa *et al.*, 2013a). Em oposição, as temperaturas inferiores das plantas debaixo da copa das árvores correspondem a uma situação de menor stress hídrico, podendo este ser um factor responsável pelas diferenças significativas ao nível da PB da pastagem, mais elevada nas amostras recolhidas debaixo da copa.



ns- diferenças não significativas; **- diferenças significativas ($p < 0,01$)

Figura 27. Efeito das árvores na temperatura da pastagem ao longo do ciclo vegetativo.

Na Figura 28 são apresentadas duas fotografias térmicas que mostram as diferenças de temperatura por efeito das árvores. A fotografia à esquerda mostra uma pastagem com a temperatura foliar das plantas mais elevada, apresentando cores dominantes como o amarelo e o vermelho, indicadores de temperaturas elevadas e, potencialmente, de stress hídrico nas plantas (Costa *et al.*, 2013a). Na figura da direita, as cores predominantes nas imagens térmicas são o azul-escuro e o azul claro, indicando menor temperatura foliar e, potencialmente, menor stress hídrico das plantas.

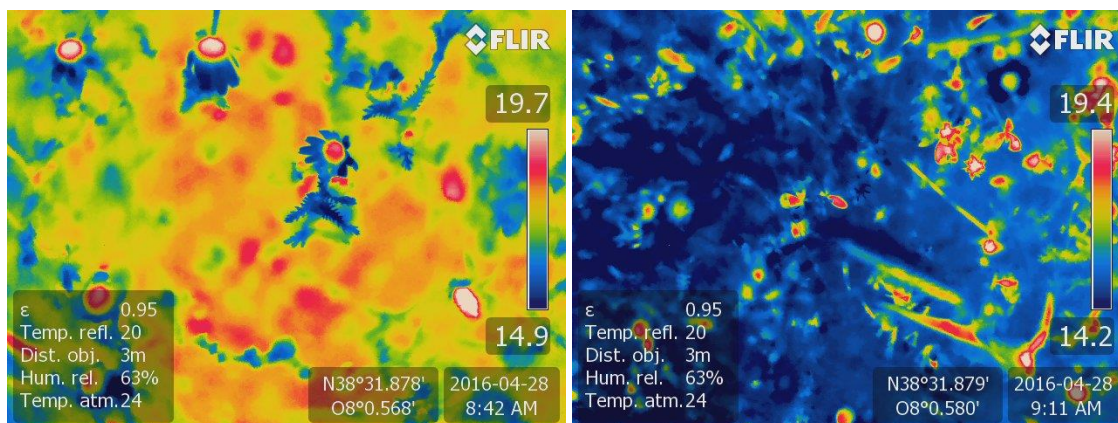


Figura 28. À esquerda: fotografia térmica de uma pastagem fora do efeito da copa; à direita: fotografia térmica de uma pastagem debaixo da copa da árvore.

Saraiva *et al.* (2014) realizaram estudos onde colocaram uma parcela com plantas sem irrigação e outra parcela de plantas com irrigação, plantas de controlo, tendo confirmado que as plantas que se encontravam sem irrigação (em stress hídrico) apresentavam temperaturas médias foliares superiores. No entanto, Jones e Vaughan (2011) salientam que o uso da temperatura das folhas das plantas como indicador do seu estado fisiológico tem limitações, as quais são em muito afectadas pelas condições climáticas do momento da medição (nomeadamente, características do vento, intensidade de radiação solar, etc.).

4.3.6- Análise cronológica resumida dos dados obtidos

Em jeito de resumo apresentam-se os aspectos mais marcantes (por ordem cronológica) da análise realizada aos dados obtidos.

- Em Novembro só foi utilizado o sensor óptico como método indirecto na avaliação da pastagem, o qual não registou diferenças significativas entre a pastagem debaixo da copa da árvore e fora da copa da árvore.
- No mês de Dezembro só ocorreram diferenças significativas a nível do teor de MS e do NDVI. Contudo, estas diferenças são contraditórias uma vez que a MS apresenta valores mais elevados debaixo da copa das árvores ao contrário do que aconteceu com o NDVI. O NDVI médio foi 0,645 de baixo da copa da árvore e 0,798 fora da copa.

- Em Fevereiro apenas foram utilizados métodos indirectos de estimativa de desenvolvimento da pastagem (sensor óptico para medição do NDVI e sonda de capacitância), tendo ambos sido consistentes: revelaram valores significativamente mais elevados fora da copa das árvores.
- Em Março registou-se uma maior produção de pastagem fora da copa das árvores, com diferenças significativas ao nível da MV, da MS e da capacitância. Em relação à qualidade da pastagem, verificaram-se valores mais elevados de PB e CT debaixo da copa das árvores.
- No final de Abril continuou a registar-se uma maior produção de pastagem fora da copa das árvores (ao nível da MV, da MS e da capacitância), no entanto, a diminuição da produção de pastagem debaixo da copa das árvores foi compensada parcialmente por uma qualidade superior (teores mais elevados de PB e de CT).
- Em Maio, mês onde se registou uma anormal concentração de precipitação, os teores de MV e os valores de capacitância continuaram a reflectir a maior produção de pastagem fora da copa das árvores, mantendo-se uma qualidade superior, em termos de PB, debaixo da copa das árvores.
- Em meados de Junho, próximo do final da Primavera, a pastagem em geral apresentava indicadores reveladores de diminuição da qualidade, verificando-se, por outro lado, diferenças significativas ao nível da MV, da MS e da capacitância, com valores superiores fora da copa das árvores.
- Em Julho só foram realizadas medições com o sensor óptico, verificando-se um claro declínio do NDVI, não tendo, no entanto, ocorrido diferenças significativas debaixo e fora da copa das árvores. Os baixos valores de NDVI traduzem o estado de quebra de vigor vegetativo em resultado das elevadas temperaturas, conjugadas com a ausência de precipitação. Este estado da pastagem manter-se-á até ao início do Outono, altura em que a ocorrência regular de precipitação conjugada com temperaturas médias do ar da ordem dos 15-20°C permitem iniciar um novo ciclo vegetativo.

4.4- Correlações entre os parâmetros da pastagem e as medições dos sensores

4.4.1- Correlação entre a capacitância e os parâmetros de produtividade da pastagem

O interesse em utilizar ferramentas expeditas que facilitem a monitorização da pastagem tem trazido avanços no campo da AP em pastagens. Silva e Cunha (2003), Cauduro *et al.* (2006), Barreto (2015) e Serrano *et al.* (2016b) demonstraram o interesse e o potencial da sonda de capacitância na estimativa da produtividade da pastagem.

As Figuras 19 e 25, obtidas com base, respectivamente, nos valores médios da matéria verde e da capacitância do conjunto de pontos de amostragem nas duas situações em estudo (debaixo da copa das árvores e fora da copa das árvores), mostraram um padrão muito semelhante de comportamento destes dois parâmetros, o que levou a estabelecer correlações entre a produtividade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo (em termos de MV e MS) e a capacitância medida pela sonda “Grassmaster II”. Verificaram-se correlações significativas com um grau de confiança de 99% (Quadro 5) em qualquer dos parâmetros e em todas as datas de amostragem.

Tal como Serrano *et al.* (2016) tinham demonstrado, verifica-se a tendência para coeficientes de correlação mais elevados na altura do pico de produção primaveril (Abril), diminuindo em Maio-Junho, acompanhando a diminuição dos teores de humidade da pastagem, o que reflecte o princípio de funcionamento desta sonda.

Confirma-se neste estudo, conduzido numa pastagem biodiversa de sequeiro no Alentejo, que as medições com a sonda de capacitância representam um método não destrutivo com potencial para monitorizar a evolução dos padrões de crescimento em pastagens.

Quadro 5. Coeficiente de correlação entre a capacitância e a produtividade da pastagem (MV e MS) ao longo do ciclo vegetativo.

Data	MV, kg ha⁻¹	MS, kg ha⁻¹
Dezembro/2015	0,786**	0,737**
Março/2016	0,729**	0,738**
Abril/2016	0,818**	0,794**
Mai/2016	0,604**	0,689**
Junho/2016	0,658**	0,626**

MV- Matéria verde; MS- Matéria seca; ** Correlação significativa com um nível de probabilidade de 1%

4.4.2- Correlação entre o NDVI e os parâmetros de produtividade e de qualidade da pastagem

A Figura 24, obtida com base, nos valores médios do NDVI do conjunto de pontos de amostragem nas duas situações em estudo (debaixo da copa das árvores e fora da copa das árvores), mostra a tendência para a diminuição progressiva desde índice a partir do final do Inverno e início da Primavera (Fevereiro-Março). Esta evolução reflecte uma diminuição natural da qualidade da pastagem com o evoluir do ciclo vegetativo das plantas (diminuição das cinzas totais e da proteína bruta e aumento do NDF; ver Figuras 21, 22 e 23, respectivamente). A produtividade, no entanto, apresenta um padrão diferente (Figuras 19 e 20, respectivamente em termos de MV e de MS), com tendência para aumentar pelo menos até Maio, com a subida da temperatura do ar e enquanto se mantiveram teores de humidade adequados no solo (dependendo, naturalmente da distribuição da precipitação nesta fase do ano).

Em estudos anteriores, Barreto (2015) e Serrano *et al.* (2016b) mostraram resultados interessantes, com correlações significativas entre a produtividade da pastagem e o NDVI na fase do pico de produção primaveril. O Quadro 6 mostra que, apesar de se terem registado algumas correlações significativas entre o NDVI e os parâmetros da produtividade da pastagem, é notória a inconsistência nos resultados, com coeficientes de correlação que variam desde altamente significativos (em Dezembro de 2015; com nível de probabilidade de 1%), a não significativos (por exemplo, em Junho de 2016).

Importa referir que nesta correlação se consideraram metade dos pontos de amostragem debaixo das árvores e a outra metade fora da copa. A pastagem que se encontra fora da copa é relativamente homogénea, enquanto a pastagem debaixo das árvores apresenta características diversas, com marcada heterogeneidade e algumas zonas inclusive com predominância de cardos e outras com manchas de solo sem cobertura vegetal, situação que tende a afectar as medições do NDVI e a perturbar as correlações.

Atendendo ao princípio de funcionamento do sensor óptico e uma vez que o índice de NDVI se relaciona com a quantidade de vegetação fotossinteticamente activa, ou seja, com o vigor vegetativo das plantas (Broge e Leblanc, 2000; Gitelson, 2004), procurou-se neste estudo correlacionar o NDVI com parâmetros de qualidade da pastagem (cinzas, PB ou NDF). No Quadro 6 é possível encontrar coeficientes interessantes no caso da PB (com valores altamente significativos entre Março e Maio), resultados que abrem boas perspectivas para estudos complementares que permitam calibrar e validar este método expedito para avaliação da qualidade da pastagem, neste caso em termos de PB.

Quadro 6. Coeficiente de correlação entre o NDVI e os parâmetros da pastagem (MV, MS, Cinzas, PB e NDF) ao longo do ciclo vegetativo.

Data	MV, kg ha⁻¹	MS, kg ha⁻¹	Cinzas, %	PB, %	NDF, %
Dezembro/2015	0,609**	0,522**	-	-	-
Março/2016	0,399*	0,217*	0,208*	0,507**	ns
Abril/2016	ns	-0,230*	0,548**	0,527**	ns
Maio/2016	-0,351*	-0,416*	0,294*	0,587**	ns
Junho/2016	ns	ns	ns	ns	ns

MV- Matéria verde; MS- Matéria seca; Cinzas- Cinzas totais; PB- Proteína bruta; NDF- Fibra ("Neutral detergent fiber"); *Correlação significativa com um nível de probabilidade de 5%; ** Correlação significativa com um nível de probabilidade de 1%; ns- Correlação não significativa

5- Conclusões

As pastagens no Alentejo são indissociáveis da agricultura de sequeiro e estão amplamente relacionadas com o montado, ecossistema que, para além das pastagens inclui o solo, as árvores e os animais em regime de pastoreio extensivo.

Este trabalho integra-se num projecto de investigação que pretende monitorizar a influência das azinheiras (*Quercus ilex ssp. Rotundifolia* Lam.) no solo e na pastagem ao longo do ciclo vegetativo, procurando testar e validar ferramentas tecnológicas de apoio ao levantamento da variabilidade, pilar de suporte à tomada de decisão e à gestão diferenciada.

No que confere ao efeito das árvores sobre o solo foi possível verificar uma significativa melhoria da fertilidade debaixo da copa das árvores. Teores mais elevados de matéria orgânica e de macronutrientes principais (azoto, fósforo e potássio) debaixo das copas das árvores podem estar relacionados com vários factores, entre eles, a deposição de folhas e bolotas e a acumulação de dejectos animais (fezes e urina) uma vez que estes são os locais preferenciais de acarro.

O efeito das árvores sobre a qualidade da pastagem foi significativo ao nível da proteína bruta, com valores mais elevados deste parâmetro debaixo da copa das árvores. Tal comportamento pode reflectir, nestas condições, um estado menos avançado de desenvolvimento vegetativo da pastagem em resultado da menor exposição solar e da manutenção de teores mais elevados de humidade no solo devido à protecção da copa. Este é um aspecto muito importante nas condições de produção de pastagens de sequeiro, já que é possível prolongar o ciclo vegetativo num período em que as elevadas temperaturas e a escassez de precipitação tendem a acelerar o final do ciclo vegetativo das plantas.

O efeito das árvores sobre a produtividade da pastagem foi significativo em termos de matéria verde e de matéria seca por hectare. Verificou-se, ao longo de toda a Primavera, uma maior produtividade da pastagem fora do efeito da copa das árvores, o que poderá traduzir o efeito da exposição solar e da temperatura sobre a taxa de fotossíntese, especialmente porque, tratando-

se de um ano em que a precipitação foi anormalmente elevada em Maio, não houve deficiência de humidade no solo durante toda a Primavera.

A utilização de ferramentas expeditas, que facilitem a monitorização da pastagem, constitui um desafio que se integra na aplicação de tecnologias de AP. Neste trabalho foi possível utilizar com sucesso três tipos de tecnologias: uma câmara térmica de infravermelhos, uma sonda de capacitância e um sensor óptico activo. A câmara térmica “ThermaCAM” deu um importante contributo para a medição da temperatura à superfície da pastagem, factor decisivo na interpretação dos resultados relativos à variabilidade da produtividade nas duas situações em estudo (debaixo da copa e fora da copa das árvores). Por outro lado, a sonda de capacitância “Grassmaster II” permitiu estimar a produtividade da pastagem, apresentando correlações significativas com a matéria verde e com a matéria seca por unidade de área, embora a robustez das correlações apresente alguma irregularidade ao longo do ciclo vegetativo da pastagem. Aspectos relacionados com a existência no solo de material vegetativo seco, nomeadamente folhas das árvores, ou a existência de humidade exterior nas plantas (orvalho), podem dificultar as medições. A utilização do sensor óptico “OptRx” permite a determinação do NDVI, entre outros índices, o que reflecte o vigor vegetativo da pastagem. Foi evidente uma quebra significativa de NDVI a partir de Março, à medida que a pastagem evoluiu no seu ciclo vegetativo. Foram também obtidas correlações significativas entre o NDVI e a produtividade da pastagem.

O fechar do ciclo de AP passará pela utilização do conhecimento da variabilidade (do solo, da pastagem, das árvores e dos animais) no apoio à tomada de decisão para efeitos da gestão diferenciada da fertilização do solo, da ressementeira de espécies botânicas, da densidade de plantação de árvores ou do encabeçamento animal e respectiva intensidade de pastoreio, procurando manter o equilíbrio e a preservação do ecossistema de montado.

6- Referências bibliográficas

- Acciaresi, H., Ansín, O., Marlats, R. (1994). Sistemas silvopastoriles: efectos de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsch). *Agroforestería en las Américas*, 1(4), 6-9.
- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 107-115.
- Andrade, C., Valentim, J., Carneiro, J. (2002). Árvores de Baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em Ecosistemas de Pastagens Cultivadas na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira Zootecnia*, 31(2), 574-582.
- AOAC Official Method, 9. (2005). *Ash of animal feed. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC International, Gaithersburg, USA.*
- AOAC Official Method, 9. (2005). *Protein (crude) in animal feed, combustion method. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC International, Arlington, VA, USA.*
- Arruda, D., Canto, M., Jobim, C., Carvalho, P. (2011). Métodos de avaliação de massa de forragem em pastagens de capim-estrela submetidas a intensidades de pastejo. *Ciência Rural*, 41(11), 2004-2009.
- Aubert, B., Schroeder, A., Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision support systems*, 54, 510-520.
- Barreto, S. (2015). *Avaliação da variabilidade espacial numa pastagem permanente: novas tecnologias de apoio à gestão do ecossistema solo – planta – animal*. Tese de Mestrado, Universidade de Évora, Évora.
- Barros, J., Freixial, R. (2012). *Pastagens*. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia. Évora.

- Bernardi, A., Perez, N. (2014). Agricultura de Precisão em Pastagens. *Agricultura de Precisão para culturas perenes e semi-perenes*, 51, 492-499.
- Berni, J., Zarco-Tejada, P., Suárez, L., Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722-738.
- Bricklemyer, R., Brown, D. (2010). On-the-go VisNIR: Potential and limitations for mapping soil clay and organic carbon. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70, 209-216.
- Broge, N., 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*, 76(2), 156–172.
- Carmona Belo, C., Belo, A., Felício, N., Martins, J., Domingos, T. (2013). Parâmetros reprodutivos de efectivos de vacas aleitantes no Alentejo. *Revista de Ciências Agrárias*, 36(1), 84-95.
- Carmona, R. (1995). Banco de sementes e estabelecimento de plantas daninhas em agroecossistemas . *Planta Daninha*, 13 (1), 3-9.
- Carvalho, M. (2001). Importância da sombra natural em pastagens cultivadas. *Embrapa Gado de Leite*, 24.
- Carvalho, M., Silva, J., Campos Júnior, B. (1997). Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26(2), 213-218.
- Carvalho, M., Freitas, V., Xavier, D. (2002). Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural . *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(5), 717-722.

- Cauduro, G., Carvalho, P., Barbosa, C., Pilau, R., Freitas, F., Silva, J. (2006). Comparação de métodos de medida indireta de massa de forragem em pasto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam). *Ciência Rural*, 36, 1617-1623.
- Cóser, A., Martins, C., Deresz, F. (2002). Metodologias para a estimativa da produção de forragem em pastagem de capim-elefante. *Circular Técnica*, 71, 1-16.
- Costa, J., García-Tejero, I., Chaves, M. (2013a). O uso da termografia na agricultura moderna. *Revista da Associação Portuguesa de Horticultura*, 113, 30-34.
- Costa, J., Grant, O., Chaves, M. (2013b). Thermography to explore plant–environment interactions. *Journal of Experimental Botany*, 64(13), 3937-3949.
- Crespo, D. (2008). Biodiversidade e Produtividade nas Pastagens e Forragens Mediterrâneas. Estratégias e Limitações. *Pastagens e Forragens*, 29/30, 15-26.
- Cunha, W. (2002). *Métodos indirectos para estimativa de massa de forragem em pastagens de cynodon spp.* Brasil: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo.
- Currie, P., Hilken, T., White, R. (1987). Evaluation of a Single Probe Capacitance Meter for Estimating Herbage Yield. *Journal of Range Management*, 40 (6), 537-541.
- DeBruyne, S., Feldhake, C., Burger, J., Fike, J. (2011). Tree effects on forage growth and soil water in an Appalachian silvopasture. *Agroforest Systems*, 83, 189-200.
- Feio, M. (1991). Enquadramento. In *Clima e Agricultura. Cap. II* (pp. 17-56). Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação. Lisboa: Euro-Dois, LDA.

- Fernandes, F., de Carvalho, G., Pires, A. (2006). Sistemas agrossilvipastoris e o aumento da densidade de nutrientes para bovinos em pastejo (Agricultural-forestry-pasture systems and nutrient density increase for grazing cattle). *Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(10), 1-17.
- Franke, I., Furtado, S. (2001). Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade. *Embrapa Acre. Documentos*, 74, 23-39.
- García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V., Arriaga, J., Hernández, A., Vélez, L., Muriel-Fernández, J. (2012). Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. *Fruits*, 67(6), 463-474.
- Gardner, A. (1967). *Estudio sobre los métodos agronómicos para la evaluación de las pasturas*. Obtido em 19 de Abril de 2015, de https://books.google.pt/books?id=0dwOAQAIAAJ&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Gitelson, A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology*, 161(2), 165–173.
- Gómez-Rey, M., Garcês, A., Madeira, M. (2012). Soil organic-C accumulation and N availability under improved pastures established in Mediterranean oak woodlands. *Soil Use and Management*, 28, 497-507.
- Haboudane, D., Miller, J., Pattey, E., Zarco-Tejada, P., Strachan, I. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90, 337-352.
- Hirata, M. (2000). Quantifying spatial heterogeneity in herbage mass and consumption in pastures. *Journal of Range Management*, 53 (3), 315-321.
- Jones, H., Vaughan, R. (2011). Remote sensing of vegetation: principles, techniques and applications. *Journal of Vegetation Science*, 22, 1151-1153.

- Kallenbach, R., Kerley, M., Bishop-Hurley, G. (2006). Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a Pine–Walnut Silvopasture. *Agroforestry Systems*, 66, 43-53.
- Maes, W., Steppe, K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany*, 63(13), 4671-4712.
- Martins, A. (2015). *Avaliação quantitativa e qualitativa da variabilidade espacial de uma pastagem melhorada de sequeiro no Alentejo*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Martuscello, J. (2004). *Forragicultura e Pastagens*. Obtido em 18 de Abril de 2015, de <http://www.forragicultura.com.br/>
- Paciullo, D., de Miranda Gomide, C., de Castro, C., Fernandes, P., Müller, M., Pires, M., Fernandes, E., Xavier, D. (2011). Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10), 1176-1183.
- Pedreira, C. (2002). Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 39, 100-150.
- Peri, P., Lucas, R., Moot, D. (2007). Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforest Systems*, 70, 63-79.
- Porter, T., Chen, C., Long, J., Lawrence, R., Sowell, B. (2014). Estimating biomass on CRP pastureland: A comparison of remote sensing techniques. *Biomass and Bioenergy*, 66, 268-274.
- Potes, J. (2011). *O Montado no Portugal Mediterrânico*. Lisboa: Edições Colibri.
- Reeves, J. (2010). Near- versus mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil analysis emphasizing carbon and laboratory versus on-site analysis: Where are we and what needs to be done? *Geoderma*, 158, 3-14.

- Reis, G., Lana, A., Maurício, R., Machado, R., Saliba, O., Sousa, L., Moreira, G., Neto, T. (2005). *Árvores nas pastagens: ganhos para o pecuarista e para o planeta*. Obtido em 18 de Abril de 2016, de BeefPoint–O ponto de Encontro da Cadeia Produtiva da Carne Bovina: www.beefpoint.com.br
- Salman, A., Soares, J., Canesin, R. (2006). Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens. *Circular Técnica*, 84, 1-5.
- Saraiva, G., Andrade, R., Souza, G. (2014). Termografia por infravermelho como ferramenta de diagnóstico precoce de estresse hídrico severo em soja. *Agrarian academy, Centro Científico Conhecer*, 1 (2), 158-169.
- Schellberg, J., Hill, M., Gerhards, R., Rothmund, M., Braun, M. (2008). Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, 59-71.
- Serrano, J., Peça, J. (2009a). Novas tecnologias na distribuição diferenciada de fertilizantes em pastagens: o fechar de um ciclo em Agricultura de Precisão. In J. P. Coelho, & J. R. Silva, *Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola - Agricultura de Precisão* (pp. 105-125). Lisboa: Associação dos Jovens Agricultores de Portugal.
- Serrano, J., Peça, J., Palma, P., Silva, J., Carvalho, M. (2009b). Calibração e validação de um medidor de capacitância num projecto de agricultura de precisão em pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*, 32, 85-96.
- Serrano, J., Peça, J., Silva, J., Shahidian, S. (2014a). Avaliação de tecnologias para aplicação diferenciada de fertilizantes: novos conceitos de gestão em pastagens permanentes. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(3), 253-269.
- Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J., Sales-Baptista, E., Ferraz de Oliveira, I., Pereira, A., Lopes de Castro, J., Sobral, P., Santana, J., Machado, E., Carvalho, M. (2016a). Effect of trees in the soil nutrient concentration and pasture productivity in Mediterranean silvo-pastoral systems. Livro de resumos do *World Congress Silvo-Pastoral Systems*, (p. 303). Évora, 27-30th September 2016 .

- Serrano, J., Silva, J., Shahidian, S. (2014b). Avaliação do potencial para aplicação diferenciada de potássio em pastagens permanentes no Alentejo – estudo de caso. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(1), 69-79.
- Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J. (2016b). Monitoring pasture variability: optical OptRx® crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. *Environmental monitoring and assessment*, 188 (2), 1-17.
- Silva, S., Cunha, W. (2003). Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de *Cynodon* spp. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38 (8), 981-989.
- Sousa, L., Maurício, R., Gonçalves, L., Saliba, E., Moreira, G. (2007). Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59(4), 1029-1037.
- Sousa, L., Maurício, R., Moreira, G., Gonçalves, L., Borges, I., Pereira, L. (2010). Nutritional evaluation of “Braquiarão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforest Systems*, 79, 189-199.
- SROA, (1969). *Carta de solos de Portugal*. Lisboa: Litografia de Portugal.
- Starks, P., Zhao, D., Phillips, W., Coleman, S. (2006). Development of canopy reflectance algorithms for real-time Prediction of Bermudagrass Pasture Biomass and Nutritive Values. *Crop Science*, 46, 927-934.
- Teixeira, R., Domingos, T., Costa, A., Oliveira, R., Farropas, L., Calouro, F., Barradas, A., Carneiro, J. (2011). Soil organic matter dynamics in Portuguese natural and sown rainfed grasslands. *Ecological Modelling*, 222(4), 993-1001.
- T'Mannetje, L. (2000). Measuring Biomass of Grassland Vegetation. In L. T'Mannejet e R. Jones, *Field and laboratory methods for grassland and animal production research*. Cap. 7 (pp. 151-177). Wallingford: CAB international.

- Trotter, M. (2010). Precision agriculture for pasture, rangeland and livestock systems. *Food Security from Sustainable Agriculture*. Agronomy Conference. Obtido em 19 de Abril de 2016, de Food Security from Sustainable Agriculture: <http://regional.org.au/au/asa/2010/crop-production/precision-agriculture/7130_trotter.htm#TopOfPage
- Van Soest, P., Robertson, J., Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10), 3583-3597.
- Zanine, A., Santos, E., Ferreira, D. (2006). Principales métodos de evaluación de pasturas. *REDVET Revista electrónica de Veterinaria*, VII, 1 - 13.
- Zarco-Tejada, P., González-Dugo, V., Berni, J. (2012). Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*, 117, 322-337.