

Avaliação da sonda Grassmaster II como ferramenta para estimativa da produtividade de pastagens de sequeiro no Alentejo

Evaluation of the Grassmaster II probe as a tool to estimate the productivity of dryland pastures in Alentejo

João Serrano^{1,*}, Emanuel Carreira¹, André Fonseca¹, Shakib Shahidian¹ e José Marques da Silva^{1,2}

¹ICAAM, Universidade de Évora, P.O. Box 94, 7002-554 Évora, Portugal

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

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

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA18180>

Recebido/received: 2018.06.19

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.06.28

Aceite/accepted: 2018.06.28

RESUMO

A estimativa da produtividade das pastagens ao longo do seu ciclo vegetativo é um indicador de grande interesse para os agricultores para efeitos de planeamento e apoio à tomada de decisão. A gestão do pastoreio animal, em termos de encabeçamento em cada parcela, da rotação dos animais entre estas, do cálculo das necessidades de aprovisionamento de forragem e de suplementação alimentar, baseia-se na produtividade. O método tradicional para medir a produtividade da pastagem envolve o corte da matéria verde numa determinada área, o que constitui um processo demorado e caro para recolher um número de amostras representativo. Neste trabalho apresentam-se os resultados de ensaios realizados entre 2007 e 2018 para calibrar uma sonda ("Grassmaster II") em três parcelas agrícolas de montado no Alentejo. Foi utilizada a sonda em 1279 pontos de amostragem, nos quais se recolheram amostras de pastagem para determinação da produtividade (biomassa total e produção de matéria seca). Foi realizada uma análise de regressão mensal entre as leituras corrigidas da sonda ("Corrected Meter Reading", CMR) e os valores de matéria verde e de matéria seca da pastagem (respectivamente, MV e MS, em kg ha⁻¹). Os resultados obtidos mostraram fortes correlações entre a produtividade da pastagem e as leituras da sonda, especialmente nos meses de Fevereiro ($r=0,936$; $p<0,01$; RMSE= 297 kg ha⁻¹ para a MS; $r=0,919$; $p<0,01$; RMSE= 2404 kg ha⁻¹ para a MV) e de Março ($r=0,807$; $p<0,01$; RMSE= 377 kg ha⁻¹ para a MS; $r=0,886$; $p<0,01$; RMSE= 1971 kg ha⁻¹ para a MV). Na Primavera, à medida que o ciclo de desenvolvimento da pastagem evoluiu, verificou-se uma quebra nos coeficientes de correlação entre os parâmetros, diminuindo a fiabilidade da estimativa na altura do pico de produção (Abril-Maio), embora com coeficientes de correlação significativos. Estes resultados mostram que a sonda "Grassmaster II" pode apoiar decisões na gestão de pastagens de sequeiro e respectivo pastoreio.

Palavras-chave: sonda, pastagens permanentes, modelos de previsão, matéria seca, gestão diferenciada

ABSTRACT

Estimating pasture productivity throughout its growth cycle is an indicator of great interest to farmers in planning and supporting decision making. The management of animal grazing, in regards to animal stocking in each parcel, rotation of the animals by the different parcels, calculation of the forage supply requirements and feed supplementation of the animals are based on pasture productivity. The standard method of assessing pasture biomass is based on cutting the forage within a specific area and requires great effort and expense to collect enough samples to accurately represent a pasture. This work presents the results of tests carried out to calibrate a probe ("Grassmaster II") in three parcels at Alentejo between 2007 and 2018. The probe was used at 1279 sampling points, in which grass samples were collected for the purpose of determining productivity (total biomass and dry matter production). A monthly regression analysis was performed between corrected meter reading (CMR) measured by the probe and the values of pasture green matter and dry matter (respectively, GM and DM, in kg ha⁻¹). The results showed strong correlations between pasture productivity and CMR, especially in February ($r = 0,936$; $p < 0,01$; RMSE = 297 kg ha⁻¹ for DM; $r = 0,919$; $p < 0,01$; RMSE = 2404 kg ha⁻¹ for GM) and March ($r = 0,807$; $p < 0,01$; RMSE = 377 kg ha⁻¹ for DM; $r = 0,886$; $p < 0,01$; RMSE = 1971 kg ha⁻¹ for GM).

During the vegetative cycle of the pasture, the correlation coefficients between the parameters had the tendency to diminish, decreasing the reliability of the estimate at the peak of production (April-May), although still with significant correlation coefficients. These results show that the “Grassmaster II” probe might support decisions making in dryland pastures and grazing management.

Keywords: probe, permanent pastures, prediction models, dry matter, differential management

INTRODUÇÃO

A estimativa da produtividade das pastagens ao longo do seu ciclo vegetativo representa um indicador de grande interesse para os agricultores em termos de planeamento e apoio à tomada de decisão. A gestão do pastoreio animal, em termos de encabeçamento em cada parcela, da rotação dos animais entre estas, do cálculo das necessidades de aprovisionamento de forragem e de suplementação alimentar, baseia-se na medição da produtividade, a qual pode ser feita por métodos directos ou indirectos. O método tradicional (directo) é baseado no corte da matéria verde de uma dada área, o que constitui um processo demorado e caro para recolher um número de amostras representativo (Cauduro *et al.*, 2006). Não sendo esta metodologia prática e realizável à escala real da exploração agro-pecuária, têm surgido outras técnicas, métodos indirectos, que permitem estimar de forma expedita a produtividade da pastagem e a sua variabilidade espacial em grandes áreas, pilar fundamental para implementar estratégias inovadoras no âmbito da “Agricultura de Precisão” (Serrano *et al.*, 2011; Pullanagari *et al.*, 2013). Um dos métodos propostos para quantificar e cartografar a variabilidade da produção de pastagens assenta na medição de índices de vegetação, principalmente o NDVI (“Normalized difference vegetation index”; Equação 1) calculado a partir da medição da reflectância pelas plantas da radiação emitida a partir de imagens de satélite (Edirisinghe *et al.*, 2011; Cicore *et al.*, 2016; Louhaichi *et al.*, 2018).

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

onde: NIR – “Near infrared”, radiação na banda do infravermelho próximo; RED – radiação na banda do vermelho.

A utilização das imagens de satélite para estas determinações, apesar de ser uma técnica não

destrutiva promissora e de baixo custo tem, no entanto, limitações ao nível da resolução espacial, sendo ainda afectada pela presença de nuvens e condicionada pela especificidade espacial e temporal dos algoritmos associados (Handcock *et al.*, 2016).

Outra alternativa para calcular estes índices resulta da utilização de sensores aerotransportados (por aviões ou por drones). Em qualquer dos casos, seja a partir de satélite ou de plataformas aéreas, persiste uma limitação importante no montado: não é possível aceder a informação sobre a pastagem debaixo da copa das árvores, o que releva a importância de sensores próximos (Handcock *et al.*, 2016) como, por exemplo, os sensores ópticos activos comerciais como o “Crop Circle”, o “Yara N-Sensor”, o “GreenSeeker” ou o “OptRx” (Serrano *et al.*, 2018).

Apesar da crescente aplicação dos sensores ópticos activos para monitorização da cobertura vegetal da superfície terrestre (seja por detecção remota ou próxima), o NDVI tende a saturar para valores elevados de índice de área foliar das plantas, ou seja, quando a produtividade atinge valores mais elevados (Cicore *et al.*, 2016; Schaefer e Lamb, 2016).

Outra proposta específica para estimativa da produtividade da pastagem é apresentada pela “Novel Ways Electronic”, empresa da Nova Zelândia que desenvolveu uma sonda (“Grassmaster II”, Figura 1), cuja descrição foi apresentada por Serrano *et al.*, (2011), sugerindo-se ainda a leitura do trabalho de Vickery e Nicol (1982) para aprofundar a teoria e o princípio do seu funcionamento. O fabricante apresenta uma equação para estimar a produtividade da pastagem a partir das medições realizadas com a sonda (Equação 2), calculada para pastagens da Nova Zelândia, constituídas por mistura de gramíneas e de leguminosas com um teor médio de matéria seca de 14-16%.

$$MS = 0,72 \times CMR - 2200 \quad (2)$$

onde: MS é a produtividade estimada da pastagem, em termos de kg de matéria seca por hectare; CMR é a leitura corrigida medida pela sonda “Grassmaster II”.



Figura 1 - “Grassmaster II”: (a) pormenor da consola; (b) sonda em operação.

Resultados publicados por Serrano *et al.*, (2011; 2016a e b) mostram que a relação entre a produtividade da pastagem e a CMR medida pela sonda é influenciada por factores como a composição florística, a espécie, o estado fenológico ou o teor de humidade da pastagem, o que justifica o interesse em realizar testes de calibração que tenham

em consideração a diversidade relacionada com as pastagens permanentes de sequeiro no Alentejo. O estado destas pastagens reflecte os aspectos relacionados com a fertilidade do solo, o manejo do pastoreio animal e, fundamentalmente, a distribuição da precipitação. É, por isso, difícil aceitar que uma equação genérica possa traduzir a variabilidade sazonal associada ao clima Mediterrânico, a qual é acentuada pela complexidade intrínseca ao ecossistema montado (Pullanagari *et al.*, 2013).

Este artigo, tendo por base os resultados obtidos em ensaios realizados entre 2007 e 2018 em três parcelas agrícolas de montado no Alentejo, num total de 1279 pontos de amostragem, teve por objectivo desenvolver equações mensais de calibração da sonda “Grassmaster II” que permitam identificar a melhor altura do ano para utilizar este equipamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Características dos locais de ensaio

Os ensaios foram realizados entre 2007 e 2018 em três parcelas do distrito de Évora, cujas características são apresentadas no Quadro 1. Estas pastagens biodiversas (constituídas por diferentes espécies botânicas: gramíneas, leguminosas, compósitas e outras espécies) têm em comum estarem inseridas em contexto de montado de azinho, pastoreadas

Quadro 1 - Características das três parcelas experimentais utilizadas neste estudo

| Local | “Revilheira” | “Silveira” | “Mitra” |
|---|---|--|---|
| Coordenadas | 38°27,9’N; 7°25,7’W | 38°62,2’N; 7°94,8’W | 38°32,2’N; 8°01,1’W |
| Área | 6,0 ha | 7,0 ha | 27,3 ha |
| Tipo de pastagem | Biodiversa (predomínio de compósitas) | Biodiversa (predomínio de gramíneas) | Biodiversa (predomínio de gramíneas e de leguminosas) |
| Árvores presentes (densidade) | Azinheiras (1 árvore/ha) | Oliveiras e azinheiras (16 árvores/ha) | Azinheiras (8 árvores/ha) |
| Espécies animais e sistema de pastoreio (encabeçamento) | Ovinos em pastoreio rotacional (24 animais/ha) | Ovinos em pastoreio permanente (2 animais/ha) | Ovinos em pastoreio permanente (8 animais/ha) |
| Período de amostragem | 2007, 2013 | 2013-2016 | 2007, 2013, 2015-2018 |
| Total de pontos amostrados | 199 | 486 | 594 |

por ovinos em sistema rotacional ou permanente. São representativas das pastagens permanentes de sequeiro da região. O facto de serem instaladas em solos de baixa fertilidade, relativamente ácidos e pobres em fósforo, leva alguns agricultores a procurar melhorar a sua produtividade pela aplicação de correctivos calcários e/ou adubos fosfatados.

Amostragem da pastagem

A amostragem da pastagem foi realizada em cada local, com repetições ao longo do ciclo vegetativo, num total de 1279 amostras, distribuídas pelas três parcelas: “Revilheira” (199 amostras, recolhidas em dois anos, 2007 e 2013), “Silveira” (486 amostras, recolhidas em quatro anos, entre 2013 e 2016) e “Mitra” (594 amostras, recolhidas em cinco anos, em 2007, 2013 e entre 2015 e 2018). O processo de amostragem consistiu na medição com a sonda “Grassmaster II”, seguida da colocação sobre a pastagem de um aro metálico com 0,1 m² de área (dimensões 0,25 m × 0,40 m). A pastagem dentro desta área foi cortada com uma tesoura eléctrica e guardada em sacos de plástico devidamente codificados. Em laboratório, a pastagem foi pesada para determinação da biomassa total produzida por unidade de área (MV em kg ha⁻¹), desidratada em estufa (72h a 65°C) e pesada novamente para determinação da produtividade em termos de matéria seca por unidade de área (MS em kg ha⁻¹), de acordo com metodologia padrão (Serrano *et al.*, 2018). Atendendo a que a sonda, devido ao seu princípio de funcionamento (Serrano *et al.*, 2011), não permite medições quando a pastagem está seca

(no Verão) ou quando a pastagem apresenta humidade exterior (em dias de chuva ou de geadas), a maioria das medições foram efectuadas nos meses de Primavera (Abril, Maio e Junho) (Figura 2).

Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados incluiu a análise descritiva com o cálculo da média e do desvio padrão (DP) de cada conjunto de dados.

A análise de correlação linear entre a CMR e a produtividade da pastagem foi realizada com o programa “MSTAT-C”, com um nível de significância de 95% (p < 0,05). Foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (r) para medir o grau da correlação ou a dependência linear entre variáveis e o coeficiente de determinação para medir a proporção da variação total da variável dependente (produtividade) explicada pela variação da variável independente (CMR).

O rigor dos modelos de regressão obtidos foi avaliado pelo cálculo do erro médio quadrático em valor absoluto (“Root mean square error”, RMSE, Equação 3) e em valor relativo (CV_{RMSE}, Equação 4). Este parâmetro estatístico mede a magnitude média dos erros resultantes da estimativa.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - M_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$CV_{RMSE} = \frac{RMSE}{y} \times 100 \quad (4)$$

onde: n é o número de observações; E_i e M_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente; y é o valor médio de cada parâmetro medido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Padrão de variabilidade dos parâmetros medidos

No Quadro 2 são apresentados os valores médios e o desvio padrão dos parâmetros medidos mensalmente nas pastagens utilizadas neste estudo. A variabilidade espacial, traduzida nos elevados

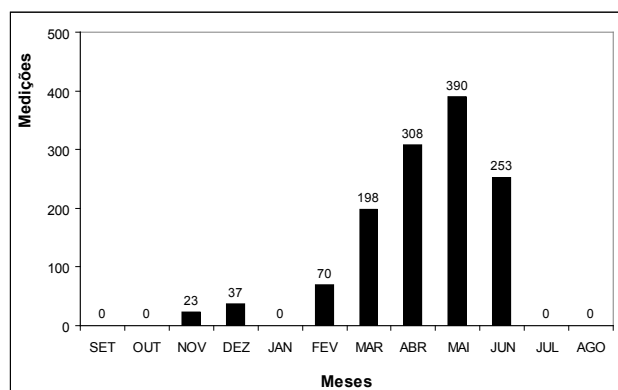


Figura 2 - Distribuição do número médio de medições realizadas em cada mês do ano.

Quadro 2 - Média±desvio padrão dos parâmetros medidos mensalmente nas pastagens utilizadas neste estudo

| Parâmetros | CMR | MV, kg ha ⁻¹ | MS, kg ha ⁻¹ | MS, % |
|------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| Novembro (n=23) | 3978±697 | 3930±2995 | 842±671 | 22,0±8,5 |
| Dezembro (n=37) | 5132±1391 | 3858±2038 | 659±307 | 17,7±7,8 |
| Fevereiro (n=70) | 5436±1609 | 8492±6141 | 1532±851 | 21,6±8,7 |
| Março (n=198) | 5629±1680 | 6717±4320 | 1299±641 | 23,2±9,6 |
| Abril (n=308) | 6989±2554 | 12718±7468 | 2297±1201 | 19,8±8,5 |
| Maió (n=390) | 7547±2992 | 13712±10576 | 2821±1454 | 25,6±10,6 |
| Junho (n=253) | 6248±2219 | 10509±6347 | 3460±1884 | 37,0±11,6 |
| Fev-Mar (n=268) | 5579±1661 | 7295±5299 | 1383±749 | 22,8±9,6 |
| Abr-Mai (n=608) | 7301±2819 | 13556±9626 | 2621±1387 | 23,1±10,2 |

CMR- Medições da sonda "Grassmaster II"; n- Número de amostras; MV- Matéria verde; MS- Matéria seca; Fev-Mar- Fevereiro-Março; Abr-Mai- Abril-Maio.

coeficientes de variação da produtividade da pastagem (da ordem dos 50-80%), mostra o interesse na aplicação de técnicas de gestão diferenciada. Os coeficientes de variação da CMR (20-40%) e da percentagem de matéria seca da pastagem (30-45%) apresentam valores da mesma ordem de grandeza, o que reflecte o princípio de funcionamento da sonda, sensível aos teores de humidade da pastagem (Serrano *et al.*, 2016a).

No Quadro 2 é possível identificar o padrão de variabilidade sazonal típico das pastagens de sequeiro no Alentejo (Efe Serrano, 2006): fraca produtividade nos meses de Outono-Inverno (neste exemplo, Novembro e Dezembro), o que reflecte o estado de repouso vegetativo das plantas em resultado da quebra da temperatura do ar; crescente produtividade a partir do final do Inverno e início da Primavera; pico de produção no final da Primavera (Maio no caso da MV e Junho no caso da MS), comportamento também registado ao nível da CMR. Os teores de MS, em %, mantiveram-se entre 18-23% de Novembro a Abril, com um acréscimo importante a partir de Maio (cerca de 26%) e, especialmente em Junho (37%), em conformidade com o ciclo vegetativo da pastagem.

Na perspectiva de disponibilizar ao agricultor opções de estimativa para dois momentos críticos na gestão da pastagem, agruparam-se, no Quadro 2, os dados obtidos por períodos de dois meses: (i) Fevereiro e Março, que marca a transição do Inverno para a Primavera, quando a produtividade começa a aumentar de forma significativa por efeito da melhoria das condições do meio, nomeadamente a temperatura do ar; e (ii) Abril e Maio,

em plena Primavera, com temperaturas médias acima dos 20°C e, normalmente, com humidade no solo, factores que se conjugam para desencadear o pico máximo de produção de pastagem.

Correlações entre as medições da sonda (CMR) e a produtividade da pastagem

Importa deixar uma nota sobre a dificuldade de enquadramento e discussão dos resultados deste trabalho, uma vez que, para além dos estudos realizados por esta equipa (Serrano *et al.*, 2011, 2016a e b) não são conhecidos outros artigos publicados sobre a utilização da sonda "Grassmaster II" em pastagens em Portugal.

Os Quadros 3 e 4 apresentam, respectivamente, as equações de regressão mensais entre a MV ou a MS e a CMR. É indicado, para cada equação, o coeficiente de correlação (r) e o erro médio quadrático, em valor absoluto (RMSE) e em percentagem. O perfil evolutivo destes indicadores é apresentado na Figura 3, salientando-se em Fevereiro os coeficientes de correlação máximos e os mínimos CV_{RMSE} ($r=0,936$; $p<0,01$; $RMSE= 297 \text{ kg ha}^{-1}$ e $CV_{RMSE}=19,4\%$ para a MS; $r=0,919$; $p<0,01$; $RMSE= 2404 \text{ kg ha}^{-1}$ e $CV_{RMSE}=28,3\%$ para a MV). De acordo com Jamieson *et al.* (1991), a estimativa pode ser considerada excelente, boa, aceitável ou pobre se o CV_{RMSE} for <10, 10-20, 20-30 ou >30%, respectivamente. Com base neste critério, a estimativa da MS foi boa em Fevereiro e aceitável em Março, enquanto a estimativa da MV foi aceitável em Fevereiro e Março.

Quadro 3 - Equações lineares para estimativa mensal da produtividade da pastagem em termos de matéria verde (MV) e respectivos coeficientes de correlação (r), erro médio quadrático (RMSE) e coeficiente de variação (CV_{RMSE})

| Estimativa da MV, kg ha ⁻¹ | Equações lineares | r | RMSE, | CV_{RMSE} |
|---------------------------------------|-------------------|---------|---------------------|-------------|
| | | | kg ha ⁻¹ | % |
| Novembro | 2,9285×CMR-7549,2 | 0,686** | 2126 | 54,1 |
| Dezembro | 0,8522×CMR-551,3 | 0,597* | 1611 | 41,8 |
| Fevereiro | 3,8787×CMR-12033 | 0,919** | 2404 | 28,3 |
| Março | 2,3358×CMR-6205,6 | 0,886** | 1971 | 29,3 |
| Abril | 2,6155×CMR-4904 | 0,831** | 4223 | 33,2 |
| Mai | 2,6438×CMR-6078 | 0,745** | 7045 | 51,4 |
| Junho | 2,3002×CMR-3469,8 | 0,744** | 4295 | 40,9 |
| Fev-Mar | 2,6804×CMR-7330,9 | 0,804** | 3377 | 46,3 |
| Abr-Mai | 2,6129×CMR-5182,3 | 0,751** | 5759 | 42,5 |

MV- Matéria verde; r- Coeficiente de correlação de Pearson; RMSE- Erro médio quadrático (“Root mean square error”); CV_{RMSE} - Coeficiente de variação do erro médio quadrático; Fev-Mar- Fevereiro-Março; Abr-Mai- Abril-Maio; *- Correlação significativa com um nível de significância de 95% (p<0,05); **- Correlação significativa com um nível de significância de 99% (p<0,01).

Quadro 4 - Equações lineares para estimativa mensal da produtividade da pastagem em termos de matéria seca (MS) e respectivos coeficientes de correlação (r), erro médio quadrático (RMSE) e coeficiente de variação das equações lineares obtidas (CV_{RMSE}) e da equação linear proposta pelo fabricante da sonda Grassmaster II ($CV_{RMSE-FAB}$)

| Estimativa da MS, kg ha ⁻¹ | Equações lineares | r | RMSE, | CV_{RMSE} | $RMSE_{FAB}$ | $CV_{RMSE-FAB}$ |
|---------------------------------------|-------------------|---------|---------------------|-------------|---------------------|-----------------|
| | MV=f(CMR) | | kg ha ⁻¹ | % | kg ha ⁻¹ | % |
| Novembro | 0,5281×CMR-1169,7 | 0,393* | 601 | 71,4 | 848 | 100,7 |
| Dezembro | 0,0919×CMR+182,87 | 0,420* | 275 | 41,7 | 1248 | 189,4 |
| Fevereiro | 0,5242×CMR-1262,4 | 0,936** | 297 | 19,4 | 977 | 63,8 |
| Março | 0,3052×CMR-418,03 | 0,807** | 377 | 29,0 | 1114 | 85,8 |
| Abril | 0,3309×CMR+9,586 | 0,678* | 881 | 38,4 | 1842 | 80,2 |
| Mai | 0,3009×CMR+560,53 | 0,617* | 1143 | 40,5 | 1907 | 67,6 |
| Junho | 0,4525×CMR+656,88 | 0,506* | 1622 | 46,9 | 2253 | 65,1 |
| Fev-Mar | 0,3433×CMR-521,58 | 0,758** | 495 | 35,8 | 958 | 69,3 |
| Abr-Mai | 0,3083×CMR+383,28 | 0,619* | 1079 | 41,2 | 1426 | 54,4 |

MS- Matéria seca; CMR- Medições da sonda “Grassmaster II”; r- Coeficiente de correlação de Pearson; RMSE- Erro médio quadrático (Root mean square error); CV_{RMSE} - Coeficiente de variação do erro médio quadrático; FAB- Equação de previsão do fabricante (MS=0,72×CMR-2200); $CV_{RMSE-FAB}$ - Coeficiente de variação do erro médio quadrático da equação proposta pelo fabricante da Grassmaster II; MS- Matéria seca; Fev-Mar- Fevereiro-Março; Abr-Mai- Abril-Maio; *- Correlação significativa com um nível de significância de 95% (p<0,05); **- Correlação significativa com um nível de significância de 99% (p<0,01).

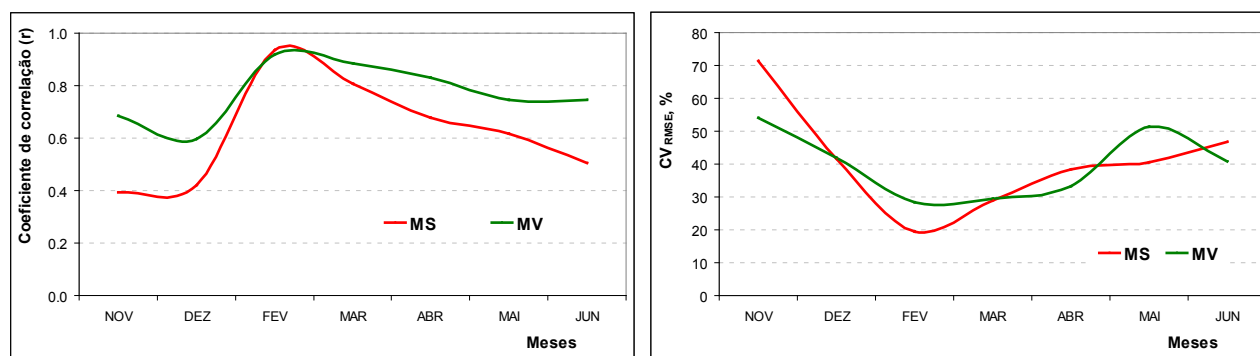


Figura 3 - Evolução do coeficiente de correlação (r) e coeficiente de variação do erro médio quadrático (CV_{RMSE}) das equações mensais de previsão da estimativa da matéria verde (MV) e da matéria seca (MS).

À medida que o ciclo de desenvolvimento da pastagem evoluiu, verificou-se a tendência para a quebra dos coeficientes de correlação entre as medições da sonda e a produtividade da pastagem, diminuindo a fiabilidade da estimativa na altura do pico de produção (Abril-Maio), ainda assim com coeficientes de correlação significativos, embora com erros médios quadráticos importantes (> 30%). Nas duas últimas colunas do Quadro 4 são indicados os erros quadráticos obtidos pela utilização da equação apresentada pelo fabricante da sonda ($RMSE_{FAB}$ e $CV_{RMSE-FAB}$). Os erros que esta equação proporciona ($CV_{RMSE-FAB} > 60\%$) reflectem, por um lado, a diversidade das pastagens Mediterrânicas quando comparadas com a “pastagem-tipo” na Nova Zelândia e, por outro, o efeito da marcada sazonalidade anual e inter-anual do clima Mediterrânico, a qual exige a adaptação da inclinação da recta de regressão e a definição de várias equações lineares em função da sazonalidade, não se encontrando contemplada numa equação linear que se pretende de aplicação geral.

Parece claro, portanto, que há um período mais favorável à utilização da sonda “Grassmaster II” em pastagens de sequeiro no Alentejo e que corresponde ao final do Inverno e início da Primavera (Fevereiro-Março). Esta capacidade de resposta da sonda pode ajudar o agricultor a organizar a rotação dos animais pelas diferentes parcelas, adaptação dinâmica do encabeçamento animal em função da evolução do ano agrícola em termos de distribuição da precipitação, especialmente no período crítico correspondente à Primavera. Se a precipitação for distribuída de forma equilibrada ao longo deste período, acompanhada da normal subida gradual das temperaturas do ar, potenciará o atingir do pico máximo de produção e sustentará um período, que se pretende o mais alargado possível, onde o binómio quantidade – qualidade garante ao animal a satisfação das suas necessidades fisiológicas e ainda a possibilidade do agricultor proceder ao corte e armazenamento em verde de parte da pastagem (Efe Serrano, 2006).

O ideal seria que a sonda mantivesse boa capacidade de resposta até ao pico de produção (que acontece normalmente nos meses de Abril ou Maio, como foi o caso no conjunto das parcelas consideradas neste estudo), permitindo ao agricultor estimar a quantidade de pastagem que poderá em cada

parcela cortar e armazenar na forma de feno ou de silagem. São, por isso, apresentadas nos Quadros 3 e 4 e na Figura 4 as equações de regressão correspondentes a dois períodos bimensais: por um lado Fevereiro-Março e, por outro, Abril-Maio, procurando simplificar, mas sem generalizar a adaptação das equações a dois momentos críticos nas pastagens de sequeiro no Alentejo. Estas equações apresentam coeficientes de correlação significativos, embora, naturalmente, com menor rigor do que as propostas mensais e mostram que a sonda “Grassmaster II” pode apoiar decisões na gestão de pastagens de sequeiro e respectivo pastoreio. Na Figura 4 é evidente que a equação de previsão da MS a partir das leituras da sonda (CMR) apresentada pelo fabricante sobrestima a produtividade da pastagem em qualquer dos períodos (Fevereiro-Março e Abril-Maio).

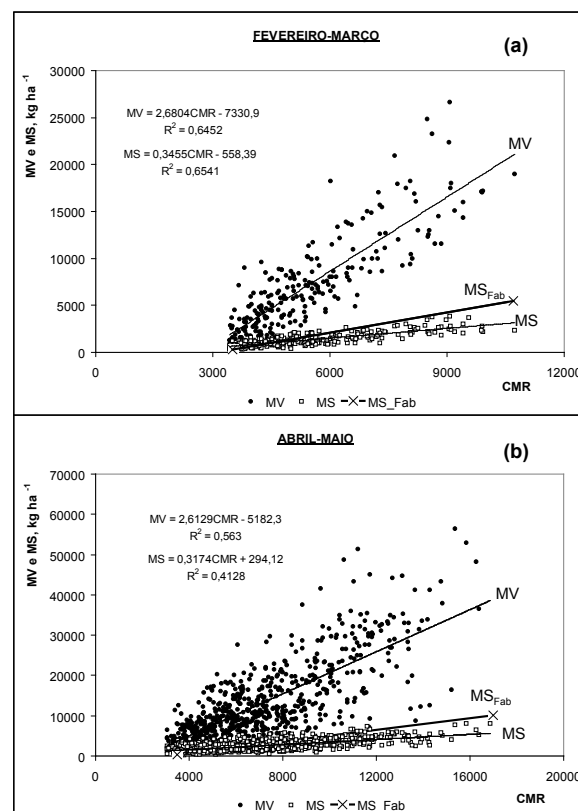


Figura 4 - Equações de regressão linear entre as medições da sonda (CMR) e a produtividade da pastagem (matéria verde e matéria seca, MV e MS, respectivamente): (a) no início da Primavera (Fevereiro-Março) e (b) no pico de produção (Abril-Maio). Enquadramento da equação de previsão do fabricante ($MS=0,72 \times CMR - 2200$).

A Figura 5 mostra, esquematicamente e em forma de síntese, diversas abordagens para monitorização da produtividade da pastagem assentes nas tecnologias actualmente disponíveis. A calibração de sensores, próximos ou remotos, constitui uma fase preliminar com interesse especialmente académico. Por um lado, a detecção remota, baseada na informação disponibilizada por satélite, representa uma metodologia de baixo custo para obtenção de índices de vegetação, os quais podem reflectir não só a variabilidade espacial da produtividade da pastagem, mas também a variabilidade temporal, ao longo do seu ciclo vegetativo e, assim, identificar zonas de gestão diferenciada. Este é o ponto de partida para o agricultor na implementação do conceito de “Agricultura de Precisão”, permitindo a amostragem inteligente da pastagem,

sem necessidade de recorrer a inúmeros pontos de amostragem, cujo custo é incompatível com a prática empresarial competitiva. Tendo sido identificadas algumas limitações da detecção remota, sobressai a importância dos sensores próximos como ferramentas complementares de apoio à tomada de decisão do agricultor. A sonda “Grassmaster II”, apesar de ser de utilização manual e, por isso, com limitações de operacionalidade na monitorização em contínuo, por exigir ir a cada local para fazer as medições, mostrou capacidade para, de forma expedita, estimar a produtividade da pastagem com um rigor aceitável ao longo da Primavera. A amostragem da pastagem permitirá aferir eventuais necessidades de correcção da fertilidade do solo, do encabeçamento animal nas diferentes parcelas e da previsão de suplementação alimentar dos animais.

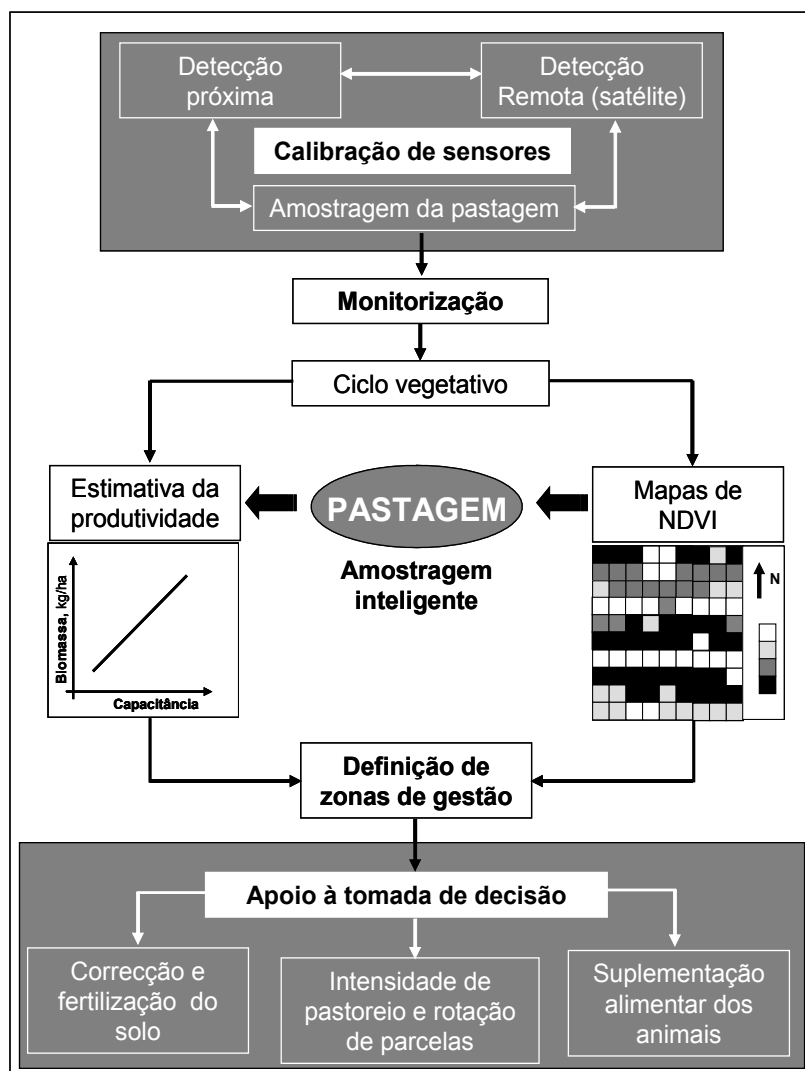


Figura 5 - Monitorização da produtividade das pastagens: da detecção remota à utilização complementar de sensores próximos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram fortes correlações entre a produtividade da pastagem e as leituras da sonda “Grassmaster II”, especialmente nos meses de Fevereiro ($r=0,936$; $p<0,01$; RMSE= 297 kg ha⁻¹ para a MS; $r=0,919$; $p<0,01$; RMSE= 2404 kg ha⁻¹ para a MV) e de Março ($r=0,807$; $p<0,01$; RMSE= 377 kg ha⁻¹ para a MS; $r=0,886$; $p<0,01$; RMSE= 1971 kg ha⁻¹ para a MV). À medida que o ciclo de desenvolvimento da pastagem evoluiu no período da Primavera, verificou-se a tendência para a quebra dos coeficientes de correlação entre os parâmetros, diminuindo a fiabilidade da estimativa na altura do pico de produção (Abril-Maio), embora mantendo coeficientes de correlação significativos. A gestão do pastoreio animal, em termos

de encabeçamento animal em cada parcela, da rotação dos animais pelas diferentes parcelas, do cálculo das necessidades de aprovisionamento de forragem e de suplementação alimentar dos animais baseia-se na produtividade. Conclui-se assim que a sonda “Grassmaster II” constitui uma ferramenta expedita que deve estar à disposição do gestor agrícola para estimar a produtividade da pastagem e apoiar decisões no manejo de pastagens de sequeiro e respectivo pastoreio.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do Projecto UID/AGR/00115/2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cauduro, G.F.; Carvalho, P.; Barbosa, C.; Lunardi, R.; Pilau, A.; 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*, vol. 36, n. 5, p. 1617-1623. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000500044>
- Cicore, P.; Serrano, J.; Shahidian, S.; Sousa, A.; Costa, J.L. & Marques da Silva, J. (2016) – Assessment of the spatial variability in tall wheatgrass forage using LANDSAT 8 satellite imagery to delineate potential management zones. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 188, n. 9, art. 513. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5512-z>
- Edirisinghe, A.; Hill, M.J.; Donald, G.E. & Hyder, M. (2011) – Quantitative mapping of pasture biomass using satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 32, n. 10, p. 2699-2724. <https://doi.org/10.1080/01431161003743181>
- Efe Serrano, J. (2006) – *Pastures in Alentejo: technical basis for characterization, grazing and improvement*. Ed. Universidade de Évora, ICAM, Gráfica Eborense: Évora, Portugal.
- Handcock, R.N.; Gobbett, D.L.; González, L.A.; Bishop-Hurley, G.J. & McGavin, S.L. (2016) – A pilot project combining multispectral proximal sensors and digital cameras for monitoring tropical pastures. *Biogeosciences*, vol. 13, p. 4673-4695. <https://doi.org/10.5194/bg-13-4673-2016>
- Jamieson, P.D.; Porter, J.R. & Wilson, D.R. (1991) – A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, vol. 27, n. 4, p. 337-350. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3)
- Louhaichi, M.; Hassan, S.; Clifton, K. & Johnson, D.E. (2017) – A reliable and non-destructive method for estimating forage shrub cover and biomass in arid environments using digital vegetation charting technique. *Agroforestry Systems*, vol. 92, n. 5, p. 1341-1352. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0079-4>
- Pullanagari, R.R.; Yule, I.J.; Tuohy, M.P.; Hedley, M.J.; Dynes, R.A. & King, W.M. (2013) – Proximal sensing of the seasonal variability of pasture nutritive value using multispectral radiometry. *Grassland Forage Science*, vol. 68, n. 1, p. 110-119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00877.x>
- Schaefer, M.T. & Lamb, D.W. (2016) – A combination of plant NDVI and LiDAR measurements improve the estimation of pasture biomass in Tall Fescue (*Festuca arundinacea* var. Fletcher). *Remote Sensing*, vol. 8, n. 2, art. 109. <https://doi.org/10.3390/rs8020109>

- Serrano, J.; Peça, J.; Silva, J.M. & Shahidian, S. (2011) – Calibration of a capacitance probe for measurement and mapping of dry matter yield in Mediterranean pastures. *Precision Agriculture*, vol. 12, p. 860-875. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9227-4>
- Serrano, J.; Shahidian, S. & Silva, J.M. (2016a) – Calibration of Grassmaster II to estimate green and dry matter yield in Mediterranean pastures: effect of pasture moisture content. *Crop & Pasture Sciences*, vol. 67, n. 7, p. 780-791. <https://doi.org/10.1071/CP15319>
- Serrano, J.; Shahidian, S. & Silva, J.M. (2016b) – Monitoring pasture variability: optical OptRx crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 188, n. 2, art. 117. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5126-5>
- Serrano, J.; Shahidian, S.; Marques da Silva, J. & Carvalho, M. (2018) – A holistic approach to the evaluation of the montado ecosystem using proximal sensors. *Sensors*, vol. 18, n. 2, art. 570. <https://doi.org/10.3390/s18020570>
- Vickery, P.J. & Nicol, G.R. (1982) – *An improved electronic capacitance meter for estimating pasture yield: construction details and performance tests* (pp. 1-22). Australian Animal Research Laboratories technical paper no. 9. Armidale: CSIRO.