SENSORES PRÓXIMOS PARA **MONITORIZAR A PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE DA PASTAGEM**: APOIO À GESTÃO DIFERENCIADA DO PASTOREIO EXTENSIVO DE OVINOS

João M. P. R. Serrano

MED—Instituto Mediterrânico para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto para as Alterações Globais e Sustentabilidade, Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora

INTRODUÇÃO

A produção animal extensiva na região do Montado, baseada em pastagens de sequeiro, depende da evolução do ciclo vegetativo da pastagem, a qual é determinada pela distribuição da precipitação, conjugada com a sazonalidade da temperatura do ar. Depois das primeiras chuvas de Outono dá-se a emergência das pastagens anuais. Iniciado o ciclo vegetativo, sucedem-se as fases de desenvolvimento, maturação e senescência, normalmente associadas ao Inverno, Primavera e Verão (Figura 1). Ao longo do ciclo vegetativo o valor nutritivo da pastagem tende a diminuir, com quebras tanto da digestibilidade (%), como da energia metabolizável (MJ/kg de matéria seca), com impacto na produtividade dos efetivos pecuários (Figura 2). Contudo, esta evolução não é espacialmente homogénea, refletindo variações na estrutura, fertilidade e funcionalidade do solo, o efeito da presença de árvores e de animais em pastoreio, em interação com o efeito da temperatura e da precipitação. É neste contexto de imprevisibilidade que o gestor agropecuário tem que tomar decisões, nomeadamente, em termos de encabeçamento (número de animais por hectare) ou de suplementação alimentar dos animais. É, portanto, fundamental dispor de ferramentas de estimativa, em tempo real, da produtividade e da qualidade da pastagem disponível para garantir a sustentabilidade económica e ambiental destes sistemas de produção extensivos. Uma boa compreensão da dinâmica do ciclo de crescimento das pastagens, da acumulação de biomassa e do valor nutricional é essencial para a sua gestão eficiente. Apesar do enorme interesse que apresentam as soluções baseadas na deteção remota (imagens de satélite), limitações impostas pela baixa resolução, pela frequente ocorrência de nuvens durante o período vegetativo das pastagens de sequeiro na região Mediterrânica (outono, inverno e primavera) e a predominância de sistemas agro-silvo-pastoris, onde as pastagens se desenvolvem sob copas das árvores, este artigo mostra o potencial que sensores próximos apresentam como tecnologias de apoio à gestão diferenciada da pastagem e do pastoreio.

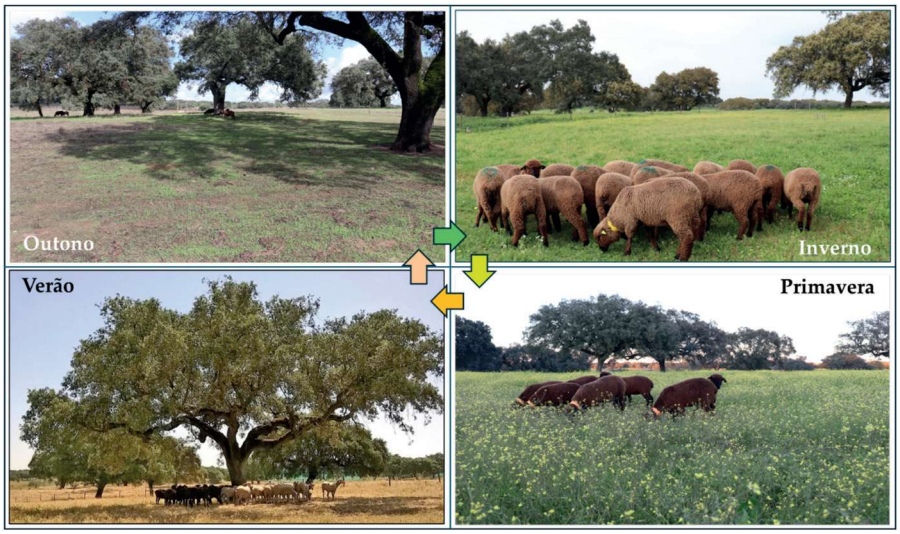


FIGURA 1. Evolução típica do ciclo vegetativo de pastagens de sequeiro no Montado, entre o Outono e o Verão.

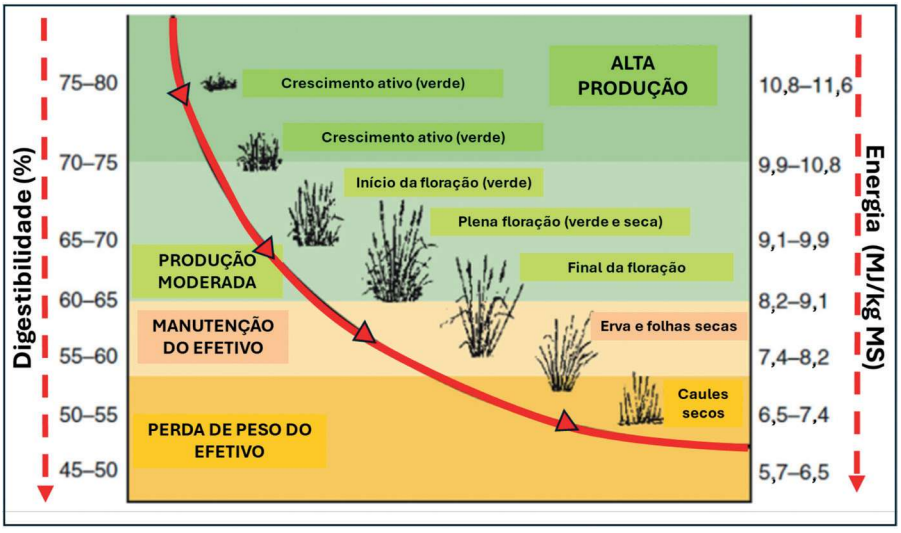


FIGURA 2. Evolução do valor nutritivo da pastagem (adaptado de Greenwood, 2021).

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA PASTAGEM

A estimativa da produtividade da pastagem pode ser realizada por métodos diretos que envolvem o corte de amostras no campo e o processamento em laboratório, de acordo com métodos standard (Figura 3). Esta metodologia é muito exigente em mão-de-obra, tem custos elevados e pressupõe um desfasamento temporal importante entre a recolha de campo e os resultados da estimativa.

A previsão da produtividade da pastagem por métodos indiretos é uma prática comum. Um gestor experiente consegue fazer uma estimativa a partir da observação visual, no campo, ou através da medição da altura da pastagem com base numa régua simples graduada, ou com base numa régua pré-calibrada em função do tipo de pastagem e do seu estado vegetativo (Figura 4-a). Estas estimativas são, contudo, relativamente grosseiras.

Há várias tecnologias utilizadas na monitorização da produtividade da pastagem em países como a Nova Zelândia ou a Austrália. As Figuras 4-b e 4-c mostram 2 sensores com ampla utilização neste países (respetivamente, sonda "Grassmaster II" e o medidor de prato ascendente, "Rising Plate Meter"- RPM).

Na sonda "Grassmaster II" (Figura 4-b; atualmente substituída no mercado pela sonda "Grassmaster Pro"), um circuito elétrico emite uma corrente elétrica fraca, de 5 V, num volume cilíndrico de 50 cm de altura e raio de 10-15cm, e realiza a medição da perturbação dessa corrente (que o fabricante designa como "Capacitância", CMR) causada pela presença de pastagem. O fabricante indica uma equação de estimativa (Equação 1), sugerindo a sua adaptação em função do tipo de pastagem e do respetivo estado vegetativo.

$$MS\ \left(\frac{kg}{ha}\right) = 0{,}72 \times CMR - 2200 \quad (1)$$

Ensaios de calibração desta sonda realizados no Alentejo, com pastagens biodiversas (mistura de gramíneas, leguminosas e outras) mostraram bons resultados (Figura 5), especialmente nas fases iniciais do ciclo vegetativo (Outono-Inverno), com baixos teores de matéria seca (MS < 20%; R2= 0,91). À medida que o ciclo vegetativo evoluiu e os teores de MS aumentam, o rigor da estimativa diminuiu drasticamente (Primavera; MS > 30%; R2= 0,46). Esta sonda, para além da quebra de precisão registada nas fases finais do ciclo vegetativo, apresenta problemas de medição (sugerindo frequente calibração) quando a pastagem está molhada (por exemplo, após uma chuvada) ou de manhã cedo, com orvalho (Serrano et al., 2025). O medidor de prato ascendente (RPM; Figura 4-c) é de utilização comum na Nova Zelândia, na Austrália, mas também nos EUA ou na Irlanda. Este sensor tem em conta a densidade da pastagem uma vez que mede a altura comprimida da pastagem (HRPM, em mm) com base num prato calibrado e, a partir desta estima a produtividade (Equação 2).

$$MS\ \left(\frac{kg}{ha}\right) = a + b \times H_{RPM} \quad (2)$$

FIGURA 3. Estimativa da produtividade da pastagem baseada em métodos diretos.

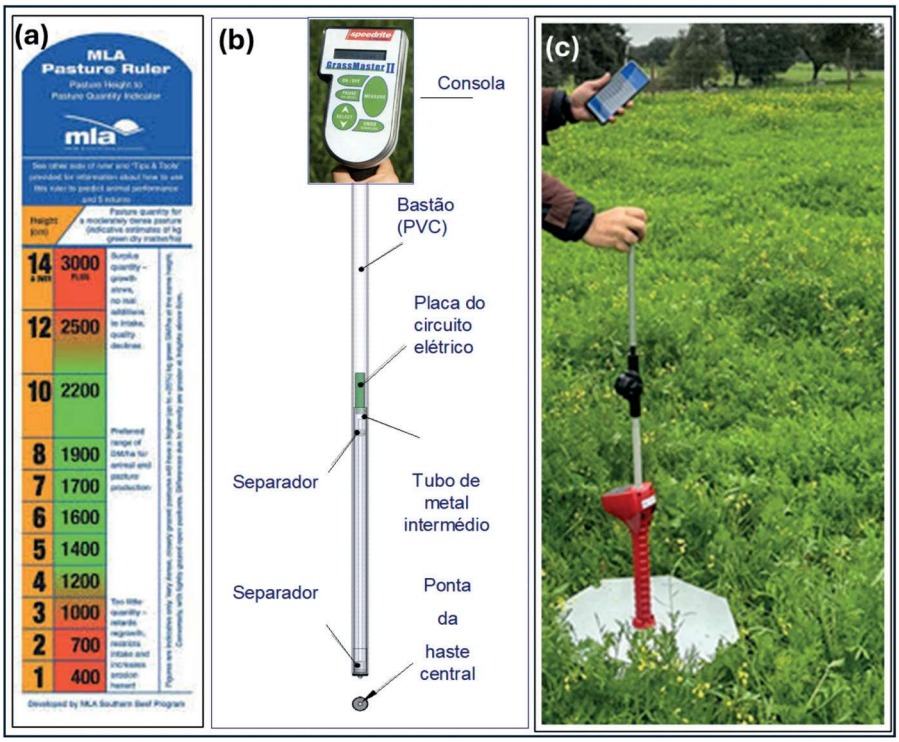


FIGURA 4. Ferramentas para estimativa da produtividade da pastagem: (a) Régua graduada, pré-calibrada; (b) sonda "Grassmaster II"; (c) Medidor de prato ascendente ("Rising Plate Meter- RPM").

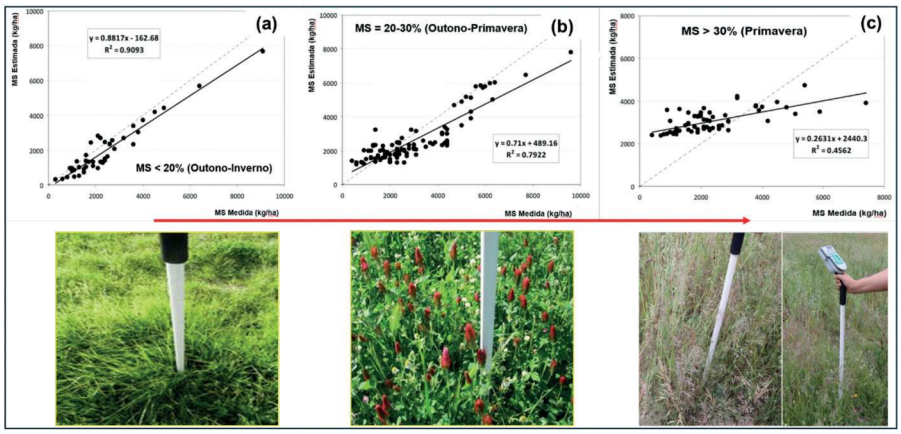


FIGURA 5. Calibração da sonda "Grassmaster II" em pastagens biodiversas do Alentejo, em diferentes fases do ciclo vegetativo da pastagem: (a) Outono-Inverno; (b) Outono-Primavera; (c) Primavera.

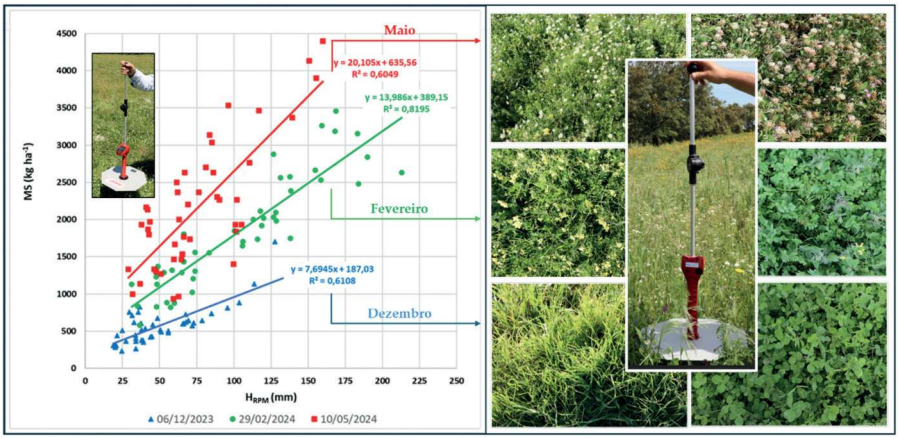
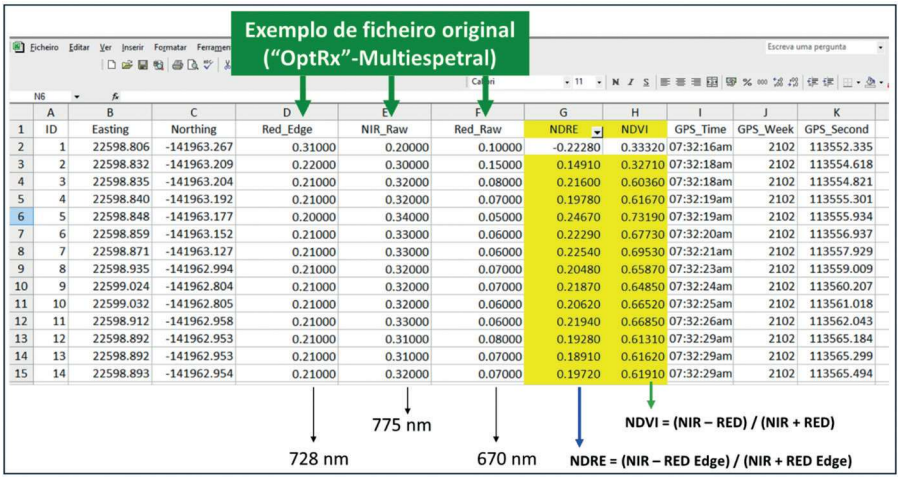


FIGURA 6. Calibração do medidor de prato ascendente (RPM) em pastagens biodiversas do Alentejo, em diferentes fases do ciclo vegetativo da pastagem: dezembro, fevereiro e maio.

FIGURA 7. Sensor ótico ativo "OptRx" moto transportados em medições de campo realizadas em pastagens biodiversas do Alentejo, associadas a recetor GNSS.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	Easting	Northing	Red_Edge	NIR_Raw	Red_Raw	NDRE	NDVI	GPS_Time	GPS_Week	GPS_Second
2	1	22598.806	-141963.267	0.31000	0.20000	0.10000	-0.22280	0.33320	07:32:16am	2102	113552.335
3	2	22598.832	-141963.209	0.22000	0.30000	0.15000	0.14910	0.32710	07:32:18am	2102	113554.618
4	3	22598.835	-141963.204	0.21000	0.32000	0.08000	0.21600	0.60360	07:32:18am	2102	113554.821
5	4	22598.840	-141963.192	0.21000	0.32000	0.07000	0.19780	0.61670	07:32:19am	2102	113555.301
6	5	22598.848	-141963.177	0.20000	0.34000	0.05000	0.24670	0.73190	07:32:19am	2102	113555.934
7	6	22598.859	-141963.152	0.21000	0.33000	0.06000	0.22290	0.67730	07:32:20am	2102	113556.937
8	7	22598.871	-141963.127	0.21000	0.33000	0.06000	0.22540	0.69530	07:32:21am	2102	113557.929
9	8	22598.935	-141962.994	0.21000	0.32000	0.07000	0.20480	0.65870	07:32:23am	2102	113559.009
10	9	22599.024	-141962.804	0.21000	0.32000	0.07000	0.21870	0.64850	07:32:24am	2102	113560.207
11	10	22599.032	-141962.805	0.21000	0.32000	0.06000	0.20620	0.66520	07:32:25am	2102	113561.018
12	11	22598.912	-141962.958	0.21000	0.33000	0.06000	0.21940	0.66850	07:32:26am	2102	113562.043
13	12	22598.892	-141962.953	0.21000	0.31000	0.08000	0.19280	0.61310	07:32:29am	2102	113565.184
14	13	22598.892	-141962.953	0.21000	0.31000	0.07000	0.18910	0.61620	07:32:29am	2102	113565.299
15	14	22598.893	-141962.954	0.21000	0.32000	0.07000	0.19720	0.61910	07:32:29am	2102	113565.494

FIGURA 8. Ficheiro de dados de campo obtido com o sensor ótico ativo "OptRx" associado a uma antena GNSS

O fabricante deste equipamento ("Jenquip EC20") sugere o ajustamento da equação genérica à evolução do ciclo vegetativo (variação sazonal) numa base mensal (Gargiulo et al., 2020). Este equipamento comercial dispõe de tecnologia sem fios de curto alcance ("Bluetooth") a qual permite transferir dados do medidor para o telemóvel. Esta tecnologia simplifica e automatiza a recolha de dados, podendo associar-se a ferramentas de apoio à decisão de gestão baseadas na internet (Serrano e Moral, 2025).

Os resultados da calibração do sensor RPM realizados no Alentejo com pastagens biodiversas (Figura 6) mostrou melhor ajustamento do modelo de estimativa nas medições realizadas no Inverno (fevereiro; R2= 0,82), relativamente às medições de Outono (dezembro; R2= 0,61) ou de Primavera (maio; R2= 0,60).

ESTIMATIVA DA QUALIDADE DA PASTAGEM

Relativamente à qualidade da pastagem, de acordo com Murphy et al. (2021), os parâmetros importantes em sistemas de pastoreio são a MS, a digestibilidade da matéria seca, a energia metabolizável, a digestibilidade da matéria orgânica, a proteína bruta (PB) e os hidratos de carbono solúveis em água. Para Lugassi et al. (2019), a composição química, o teor de água e a concentração de nutrientes são amplamente utilizados como indicadores do valor nutritivo das pastagens. O teor de PB e de fibra em detergente neutro (NDF) destacam-se entre os parâmetros químicos mais comuns para efeitos de avaliação da qualidade das pastagens: um elevado teor de PB e um baixo teor de fibra são caraterísticas de pastagens de elevada qualidade (Lugassi et al., 2019; Serrano et al., 2021).

Estão disponíveis tecnologias comerciais de espectros óticos para a medição terrestre da qualidade das pastagens (por exemplo, "GreenSeeker" ou "OptRx"). Os sensores óticos obtêm índices de vegetação através do cálculo do rácio de diferentes espectros de luz. O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é um dos índices de uso comum (Murphy et al., 2021), estimando a qualidade da vegetação com base no rácio (Equação 3) dos comprimentos de onda infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED; Murphy et al., 2021).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (3)$$

O NDVI é sensível a alterações na maturação das plantas, fator determinante das alterações na concentração de nutrientes e fortemente correlacionado com a quantidade de pigmentos de clorofila nas plantas e, portanto, com a PB das pastagens (correlação positiva) (Serrano e Moral, 2025).

A Figura 7 apresenta a utilização de sensores multiespectrais "OptRx" (Ag Leader, Ames, IA, EUA) montados numa plataforma instalada numa moto 4. A Figura 8 mostra um exemplo de um ficheiro de dados de campo obtidos pelo referido sensor multiespetral. Para além do índice NDVI, permite também a obtenção do índice NDRE (Normalized Difference Red Edge Index). Ensaios de campo para calibração deste tipo de sensor (Serrano e Moral, 2025) conduziram a um forte ajustamento entre o NDVI e a PB da pastagem (R2 = 0,75).

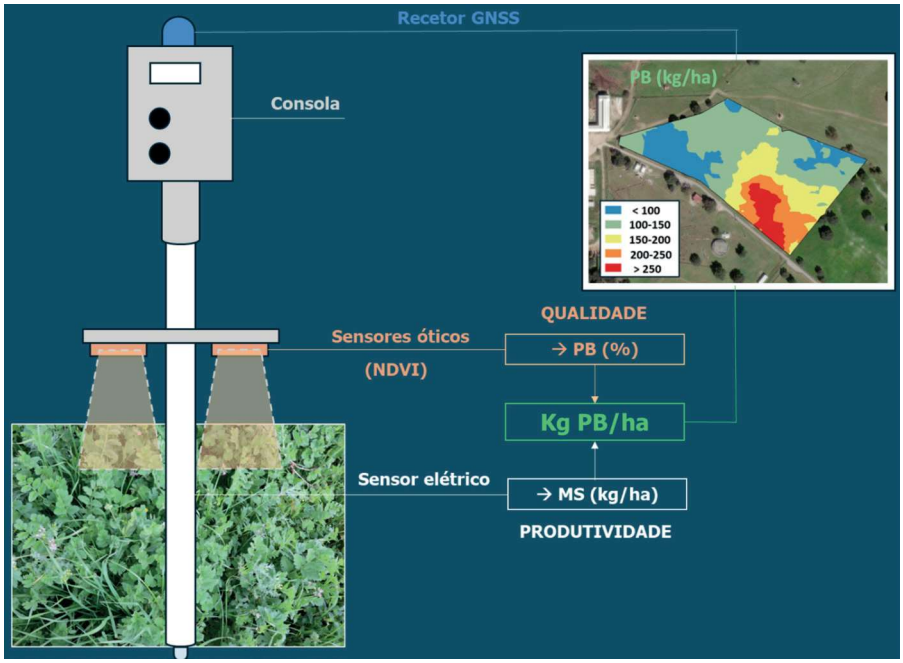


FIGURA 9. Proposta de desenvolvimento através de abordagem multisensores para estimativa simultânea da produtividade e da qualidade da pastagem.

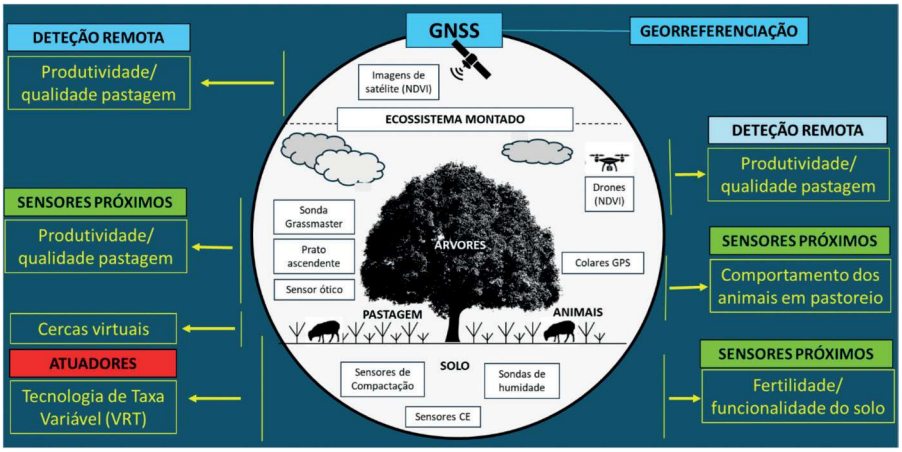


FIGURA 10. Abordagem holística de monitorização do Montado baseada em tecnologias de Agricultura de Precisão (AP).

ESTIMATIVA SIMULTÂNEA DA PRODUTIVIDADE E DA QUALIDADE DA PASTAGEM

Nos sistemas de produção animal extensiva, as pastagens são a base da alimentação dos ruminantes. A abordagem de estimativa baseada na disponibilidade de pastagem (por exemplo, kg de MS/ha) ou na qualidade (PB, em %) pode ser considerada incompleta. Na prática, o ideal seria uma abordagem que integrasse simultaneamente as duas componentes (disponibilidade e qualidade). Para o efeito, uma equipa de investigação da Universidade de Évora (MED/CHANGE) desenvolve atualmente uma abordagem multisensores, com a fusão de sensores complementares: a "Grassmaster II" ou o RPM para estimar a dimensão disponibilidade (MS, em kg/ha), e o sensor ótico "OptRx" para estimar a dimensão qualidade (PB, em %) através do cálculo do NDVI (Figura 9). A integração simultânea da produtividade e da qualidade da pastagem, permitirá expressar a disponibilidade em kg de PB/ha. A associação de um recetor GNSS a sensores de proximidade ou de contacto permite a georreferenciação da informação de campo. Esta georreferenciação permite a representação em forma de mapa do padrão espacial dos parâmetros da pastagem. A informação em causa constitui um desenvolvimento que permitirá tomadas de decisão, por exemplo em termos de suplementação dos animais, praticamente em tempo real

Para além do interesse em mais estudos de calibração/validação destes sensores na gama diversificada de pastagens heterogéneas que são caraterísticas da região, abrem-se perspetivas para estudos que potenciem estas tecnologias próximas associando-as à DR, permitindo aos agricultores monitorizar grandes áreas e determinar em tempo real a disponibilidade e a qualidade das pastagens "in situ", e de forma expedita, com pouca ou nenhuma mão de obra para apoiar a tomada de decisão.

A sensibilização para os benefícios da utilização na exploração de tecnologias de AP para a medição frequente e exata da disponibilidade e qualidade das pastagens é uma das principais estratégias para garantir a sustentabilidade económica e ambiental destes sistemas de produção extensivos. A Figura 10 mostra como a incorporação tecnológica na área da AP tem permitido a uma equipa de investigação da Universidade de Évora (MED/CHANGE) uma abordagem holística sobre o ecossistema Montado.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

Gargiulo, J.; Clark, C.; Lyons, N.; Veyrac, G.; Beale, P.; Garcia, S. (2020). Spatial and temporal pasture biomass estimation integrating electronic plate meter, Planet CubeSats and Sentinel-2 satellite data. Remote Sensing, 12(19), 3222.

Greenwood, P. L. (2021). Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. Animal, 15(1), 100295.

Lugassi, R.; Zaady, E.; Goldshleger, N.; Shoshany, M.; Chudnovsky, A. (2019). Spatial and temporal monitoring of pasture ecological quality: Sentinel-2-based estimation of crude protein and neutral detergent fiber contents. Remote Sensing, 11(7), 799.

Murphy, D.J.; Shine, P.; O'Brien, B.; O'Donovan, M.; Murphy, M.D. (2021). Utilising grassland management and climate data for more accurate prediction of herbage mass using the rising plate meter. Precision Agriculture, 22(1), 1189–1216.

Serrano, J.; Shahidian, S.; Paixão, L.; Marques da Silva, J.; Morais, T.; Teixeira, R.; Domingos, T. (2021). Spatiotemporal patterns of pasture quality based on NDVI time-series in Mediterranean Montado ecosystem. Remote Sensing, 13(19), 3820.

Serrano, João (2025). Calibração de um medidor de prato ascendente na estimativa da produtividade de pastagens biodiversas de sequeiro. Revista de Ciências Agrárias, 48(1), 32-42.

Serrano, João; Moral, Francisco (2025). Índice global de produtividade e qualidade das pastagens: Avaliação de sensores na perspetiva da Agricultura de Precisão. Revista de Ciências Agrárias, 48(2), 067-078.