



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Avaliação de sensores próximos para monitorização da
produtividade e da qualidade da pastagem no ecossistema
Montado**

Júlio Miguel da Silva Franco

Orientador(es) | João Manuel Serrano

Évora 2025



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Avaliação de sensores próximos para monitorização da
produtividade e da qualidade da pastagem no ecossistema
Montado**

Júlio Miguel da Silva Franco

Orientador(es) | João Manuel Serrano

Évora 2025



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)

Vogais | João Manuel Serrano (Universidade de Évora) (Orientador)
Manuel Joaquim Marques Patanita (Instituto Politécnico de Beja) (Arguente)

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível com o contributo de algumas pessoas que não poderiam ficar esquecidas, e às quais devo agradecer.

Primeiramente, agradecer ao meu orientador, o Professor João Manuel Pereira Ramalho Serrano, que foi incansável ao longo deste período de realização da dissertação, e que me formou enquanto aluno e pessoa ao longo dos meus 5 anos de ensino nesta instituição. Agradecer não só a paciência e a compreensão durante o processo de elaboração da dissertação, como também a sua disponibilidade para me acolher neste projeto e me ter guiado no processo de elaboração deste trabalho.

A todos os docentes e investigadores dos projetos “Eco-SPAA” e “SUMO”, por terem mostrado disponibilidade em me acolher.

Ao Dr. Emanuel Carreira, pelo acompanhamento e os ensinamentos durante o trabalho de campo.

Às minhas colegas Ester Mata e Margarida Cruz, pela ajuda prestada na recolha de dados com os sensores no campo

Ao Eng^o Rodrigo pela disponibilização do seu local de trabalho e ajuda no processo de tratamento das amostras em laboratório

Ao Professor Vasco Fitas da Cruz, Diretor do curso de Engenharia Agronómica por ter aceite a minha candidatura neste curso, e também pelos 5 anos de formação no meu percurso académico.

À Maria Duarte Jorge, que sempre me apoiou durante a realização deste projeto e ajudou com a parte gramatical.

E por último, mas não menos importante, aos meus Pais e ao meu irmão por me terem apoiado e disponibilizado todos os meios necessários ao meu sucesso, nunca me deixando desistir.

Resumo

Este trabalho baseia-se na avaliação de sensores para monitorização da produtividade de pastagens no ecossistema Montado, efetuando a calibração de dois sensores, a sonda “*Grassmaster II*” (“GMII”) e o prato medidor ascendente (“RPM”), entre dezembro de 2023 e maio de 2024. A avaliação teve duas fases: a calibração, realizada numa parcela de pastagem de sequeiro (“Eco-SPAA”); e a validação, realizada em três parcelas da Herdade da Mitra. Os melhores resultados da fase de calibração para a “GMII” ocorreram em fevereiro ($R^2=0,60$; $RMSE=489 \text{ kg ha}^{-1}$); para o “RPM” os melhores resultados foram obtidos no conjunto de recolhas de dezembro e fevereiro ($R^2=0,75$; $RMSE=432 \text{ kg ha}^{-1}$). A validação mostrou menor erro nas medições realizadas na parcela “Eco-SPAA” ($RMSE=735,4$ e $512,3 \text{ Kg ha}^{-1}$ para a “GMII” e “RPM” respetivamente). Espera-se que estes resultados possam incentivar a realização de mais estudos, melhorando os modelos de estimativa na perspetiva de apoio à tomada de decisão.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Calibração; Tecnologias; Validação; Matéria seca.

Evaluation of proximal sensors for monitoring pasture productivity and quality in Montado ecosystem

Abstract

This work is based on the evaluation of sensors for monitoring pasture productivity in the Montado ecosystem, calibrating two sensors: the “Grassmaster II” (“GMII”) probe and the rising plate meter (“RPM”), between December 2023 and May 2024. The evaluation was conducted in two phases: calibration, performed in a rainfed pasture plot (“Eco-SPAA”); and validation, carried out in three plots at Herdade da Mitra. The best calibration results for the “GMII” occurred in February ($R^2=0.60$; $RMSE=489 \text{ kg ha}^{-1}$); for the “RPM”, the best results were obtained from the combined data of December and February ($R^2=0.75$; $RMSE=432 \text{ kg ha}^{-1}$). The validation showed lower error in measurements taken at the “Eco-SPAA” plot ($RMSE=735.4$ and 512.3 kg ha^{-1} for the “GMII” and “RPM,” respectively). It is expected that these results may encourage further studies, improving estimation models to support decision-making.

Keywords: Calibration; Precision Agriculture; Technologies; Validation.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice de Figuras	vii
Lista de Abreviaturas	x
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	2
2. Revisão bibliográfica	3
2.1. Agricultura de precisão	4
2.2. Sistema agro-silvo-pastoril: Montado	5
2.3. Pastagem	7
2.3.1. Importância da pastagem	7
2.3.2. Monitorização das pastagens	8
2.4. Medição da Produtividade da Pastagem	10
2.4.1. Métodos diretos	11
2.4.2. Métodos Indiretos	11
2.4.2.1. Prato medidor ascendente (<i>Rising Plate Meter</i> , “RPM”)	12
2.4.2.2. Sonda “ <i>Grassmaster II</i> ”	13
3. Materiais e Métodos	15
3.1. Local de estudo da fase de calibração	16
3.2. Locais de estudo da fase de validação	17
3.3. Caracterização climática	20
3.4. Equipamentos	23
3.5. Metodologia dos ensaios	24
3.5.1. Procedimento de calibração dos modelos de estimativa da produtividade .	25
3.5.2. Procedimento de validação dos modelos de estimativa da produtividade...	26

3.6.	Processamento laboratorial das amostras de pastagem	28
3.7.	Tratamento de dados.....	28
4.	Resultados	30
4.1.	Relação entre variáveis: Fase de calibração.....	33
4.2.	Relação entre variáveis: Fase de validação	39
5.	Discussão	41
5.1.	Variabilidade temporal da pastagem.....	42
5.2.	Variabilidade espacial da pastagem.....	43
5.3.	Relação entre variáveis: Produtividade.....	45
5.3.1.	Relação entre a altura da pastagem (H) e a produtividade (MS)	45
5.3.2.	Relação entre a altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) e a produtividade (MS)	46
5.3.3.	Relação entre as medições da sonda “ <i>Grassmaster II</i> ” (CMR) e a produtividade (MS)	49
5.3.4.	Fase de validação.....	50
6.	Conclusões.....	53
7.	Referências Bibliográficas	56

Índice de figuras

Figura 1: Esquema de monitorização do Montado apoiada em tecnologias de Agricultura de Precisão.....	4
Figura 2: Componentes do ecossistema montado: influência dos fatores sobre a pastagem (Serrano <i>et al.</i> , 2019d).....	10
Figura 3: Prato medidor ascendente (Rising Plate Meter, RPM) (Acesso site: https://www.jenquip.nz/product-page/ec20-bluetooth-electronic-platemeter , dia 4 de setembro de 2024)	13
Figura 4: Componentes da sonda "Grassmaster II" (Serrano <i>et al.</i> , 2016).....	14
Figura 5: Mapa da parcela "Eco-SPAA", onde se encontram georreferenciadas 48 áreas de amostragem, em 4 parques de pastoreio (Serrano <i>et al.</i> , 2023).	16
Figura 6: Espécies botânicas predominantes na parcela experimental "Eco-SPAA": (a) <i>Diplotaxis catholica</i> ; (b) <i>Erodium mochatum</i>	17
Figura 7: Localização das parcelas de ensaio na Herdade da Mitra (M _F - mistura para forragem; L _p - leguminosas para pastoreio; M _p - mistura para pastoreio).....	18
Figura 8: Espécies botânicas de pastagens presentes na mistura para pastagem (M _p): (a) gramíneas espontâneas; (b) <i>Diplotaxis catholica</i> ; (c) <i>Erodium mochatum</i>	19
Figura 9: Espécies botânicas presentes nas leguminosas para pastagens (L _p): <i>Trifolium repens</i>	19
Figura 10: Mistura biodiversa de leguminosas e gramíneas ("Naturmix"; M _F): <i>Lolium multiflorum</i> (a), <i>Trifolium spp.</i> (b), entre outras.	20
Figura 11: Diagrama termopluviométrico referente ao triénio 1991-2021 para a Estação Meteorológica de Évora (site: https://pt.climate-data.org/europa/portugal/evora/evora-135/ , no dia 2 de outubro de 2024).....	21
Figura 12: Diagrama da temperatura média mensal e da precipitação acumulada referente ao ano agrícola de 2023/2024 da estação meteorológica de Évora.	22
Figura 13: Régua graduada (a) e craveira eletrónica (b).....	23
Figura 14: Aro metálico (a) e tesoura de corte das amostras de pastagem (b).....	23
Figura 15: Sonda "Grassmaster II" (a); prato medidor ascendente ("RPM"; b) e respetiva aplicação para telemóvel (c).....	24
Figura 16: Imagem do desenvolvimento vegetativo da pastagem em 22 de janeiro de 2024 (a) e em 17 de abril de 2024 (b).	25

Figura 17: Equipa de trabalho durante as medições com sensores na parcela experimental “Eco-SPAA” durante a fase de calibração (a); pormenor da medição da altura com régua graduada e da altura comprimida com o “RPM” (b).....	25
Figura 18: Recolha de pastagem na área delimitada para constituição da amostra compósita.	26
Figura 19: Seleção e identificação dos pontos de amostragem em cada zona escolhida na fase de validação.	27
Figura 20: Medições com os sensores nas zonas de amostragem da fase de validação: medições com a “Grassmaster II” (a); medições com o “RPM” (b).....	27
Figura 21: Processamento laboratorial das amostras de pastagem: pesagem (a) e desidratação em estufa (b).....	28
Figura 22: Evolução dos teores de matéria verde (MV; kg ha ⁻¹), matéria seca (MS; kg ha ⁻¹) e humidade (Hum; %) durante o período de amostragem da fase de calibração.	33
Figura 23:Relação entre a altura comprimida (H _{RPM}) e altura da pastagem (H) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b) e maio (c).	34
Figura 24: Relação entre a produtividade em termos de matéria seca (MS) e a altura da pastagem (H) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b) e maio (c).....	35
Figura 25: Relação entre a produtividade em termos de matéria seca (MS) e a altura comprimida da pastagem (H _{RPM}) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b) e maio (c).	36
Figura 26: Relação entre a produtividade em termos de matéria seca (MS) e a leitura da sonda “Grassmaster II” (CMR) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b), e maio (c).	37
Figura 27: Modelo de estimativa da matéria seca da pastagem (MS) baseado nas medições da altura comprimida (H _{RPM}), associando dados de dezembro e fevereiro (n=96).	38
Figura 28: Testes da fase de validação: Relação entre altura (H) e altura comprimida da pastagem (H _{RPM}).	39
Figura 29: Testes da fase de validação: Relação entre a MS e altura (a), altura comprimida (H _{RPM}) (b) e medições da sonda “Grassmaster II” (CMR) (c).	40
Figura 30: Variação da produtividade e da altura comprimida (H _{RPM}) da pastagem nas três datas de avaliação.	47
Figura 31:Variação da produtividade (MS) e das medições da sonda (CMR) nas três datas de medição.....	49

Lista de abreviaturas

AP – Agricultura de Precisão

CMR – *Correct measure reading* (medida pela “GMII”)

CN – Cabeças normais

CV – Coeficiente de variação

GMII – “*Grassmaster II*”

GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*

H – Altura

Hum – Humidade da pastagem

H_{RPM} – Altura comprimida (medida pelo “RPM”)

ha – Hectares

IV – Intervalo de variação

L_p – Leguminosas para pastoreio

M_f – Mistura para forragem

M_p – Mistura para pastoreio

MS – Matéria seca

MV – Matéria verde

R² – Coeficiente de determinação

RMSE – *Root Mean Square Error*

RPM – Prato medidor ascendente

1. Introdução

O setor primário tem sido alvo de bastantes exigências, tanto por parte do consumidor, como por parte das políticas ecológicas propostas no interior da União Europeia. A pecuária em regime de exploração extensivo não é exceção, sendo cada vez mais o objetivo dos produtores conseguirem produtos que agradem ao consumidor, com o mínimo de impacto ambiental e maior rentabilidade a nível económico.

O conceito de agricultura de precisão (AP) surge para responder a estas exigências, atuando de maneira a otimizar e rentabilizar os recursos existentes na exploração, com a garantia de conseguir corresponder às necessidades dos consumidores e dos produtores. Este conceito remete para a utilização de sensores eletrónicos que, após calibração e posterior análise dos dados que disponibilizam, geram e fornecem informações que pode auxiliar o agricultor no processo de tomada de decisão, nomeadamente, no manejo dos animais e da pastagem, permitindo definir encabeçamentos ou ajustar a suplementação alimentar dos animais.

Em Portugal, a aplicação de técnicas e tecnologias de AP em explorações de produção de ruminantes em regime extensivo, normalmente de baixa rentabilidade, apresenta pouca expressão e desenvolvimento, sendo uma realidade muito aquém do pretendido e distante do que se verifica nos sistemas de produção animal intensivos ou na produção de cereais, por exemplo. A aplicação de tecnologias para estimar a produtividade da pastagem constitui um verdadeiro desafio, em especial devido à elevada variabilidade espacial inerente às pastagens biodiversas, acentuada pelo pastoreio, e marcada por uma forte sazonalidade e irregularidade climática inter-anual. A calibração e validação destas tecnologias em condições típicas da região do Alentejo poderá ser um fator determinante para a extensão ao agricultor, e contribuir para a modernização da atividade agro-pecuária extensiva.

1.1. Objetivos

O objetivo desta dissertação consistiu na avaliação e calibração de duas ferramentas de monitorização da produtividade da pastagem no ecossistema Montado: uma sonda “*Grassmaster II*” (“GMII”) e um prato medidor ascendente (ou “*Rising Plate Meter*”, “RPM”). O ensaio procurou abranger todo o período de desenvolvimento vegetativo da pastagem, tendo decorrido entre dezembro de 2023 e maio de 2024, envolvendo as estações do ano de outono, inverno e primavera.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Agricultura de precisão

O crescimento da população mundial e o aumento da procura de alimentos colocam um desafio cada vez maior ao setor agrícola. Estima-se que a produção de alimentos necessitará de crescer cerca de 70% até 2050 para conseguir satisfazer a procura. Além destas exigências para a produção agrícola, existe também uma preocupação global cada vez maior relacionada com os impactos ambientais do setor da pecuária no planeta, sendo cada vez mais importante conseguir uma melhor eficiência na produção animal (Bretas *et al.*, 2023).

É então aqui que surge o conceito de AP, apoiado na utilização de novas tecnologias (Figura 1). Assim sendo, todo este processo se inicia na recolha de informação com dispositivos eletrónicos de medição e de levantamento de dados, que ajudam a compreender a variabilidade existente em cada caso concreto. Estes equipamentos utilizam ferramentas de gestão e de análise de dados com associação a “Sistemas Globais Navegação Global por Satélite” (GNSS- *Global Navigation Satellite Systems*). Com estes sistemas é possível gerir melhor a produção agrícola, conseguindo tratar de maneira diferente o que é diferente (Serrano *et al.*, 2019b).

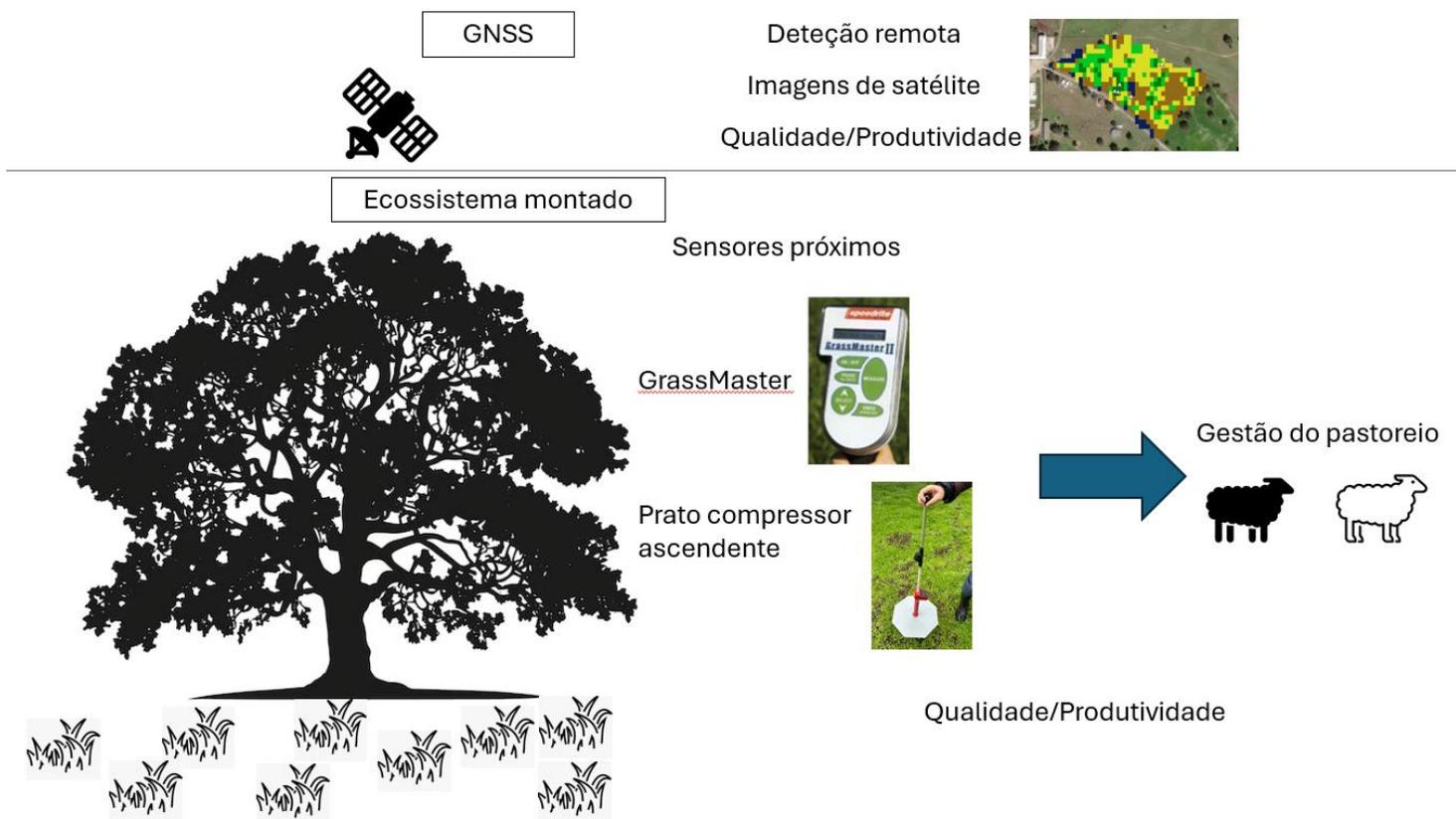


Figura 1: Esquema de monitorização do Montado apoiada em tecnologias de Agricultura de Precisão (Fonte: autor).

A indústria agrícola desenvolveu novos ramos, com o objetivo de apresentar soluções técnicas que permitam responder à variabilidade espacial dos campos agrícolas. Assim, associando esta variabilidade a um sistema de coordenadas que permite referenciar as diferentes zonas, é possível realizar uma gestão diferenciada dentro da parcela (gestão intra-parcelar) (Schellberg *et al.*, 2008).

A AP tem como objetivo aumentar a sustentabilidade nas explorações agrícolas. Esta está relacionada com alguns pontos importantes, que são fundamentais no dia-a-dia de uma exploração agrícola. O primeiro aspeto baseia-se no uso eficiente de recursos, sendo que a utilização de técnicas de AP que ajudam os produtores a otimizar os seus recursos, têm também impacto económico, possibilitando o aumento dos *outputs* ou a redução de *inputs*. Outro aspeto sobre o qual a utilização destas técnicas é muito importante é no apoio à tomada de decisão do agricultor, pois tendo uma maior disponibilidade de dados e informações, permite-lhe tomar decisões mais acertadas. Acresce um terceiro aspeto que se encontra relacionado com o anterior, ou seja, maior disponibilidade de informação permite ao agricultor uma redução da incerteza, o que possibilita uma abordagem mais proativa e adaptativa à gestão da exploração, levando a melhores resultados (Schellberg *et al.*, 2008).

2.2. Sistema agro-silvo-pastoril: Montado

A região do Alentejo é, tipicamente, marcada por uma paisagem Mediterrânea onde se inclui o sistema agro-silvo-pastoril. Sistema este bastante complexo, onde se pratica, por norma, a criação de gado com um baixo encabeçamento por hectare, onde os animais se alimentam principalmente da pastagem permanente (de sequeiro) e de frutos provenientes das árvores (bolota) que existem neste sistema (Fernández-Habas *et al.*, 2021; Serrano *et al.*, 2019c).

Para se conseguir obter rendimento através deste sistema, é necessário ter em conta os fatores bióticos presentes, a fauna e flora características, principalmente as árvores, a pastagem e os animais de produção. É fundamental respeitar cada um destes elementos e mantê-los em equilíbrio, de maneira a ter uma maior rentabilidade e sustentabilidade, sendo esta a responsável pela promoção da conservação dos solos, pela retenção de água e pela biodiversidade. Dentro do sistema agro-silvo-pastoril, existem dois elementos bióticos que se encontram em competição para conseguirem um maior desenvolvimento, sendo eles as árvores e a pastagem, competindo por água, luz solar e nutrientes (Ferreira, 2012).

Portugal e Espanha são dois países onde as pastagens permanentes da bacia do Mediterrâneo se encontram com uma grande expressão. Este sistema agro-silvo-pastoril é denominado Montado em Portugal (predominante na região do Alentejo), e por “Dehesa”, em Espanha, cobrindo na Península Ibérica uma área entre 3,5 e 4 milhões de hectares (Fernández-

Habas *et al.*, 2021; Serrano *et al.*, 2019c). A componente arbórea, que integra fundamentalmente sobreiros e azinheiras, faculta alimento para os animais em pastoreio (através da produção de bolota), e proteção, principalmente na forma de sombra durante o verão. A soma dos elementos que o constituem torna este sistema extensivo completo, nas perspetivas agrícola, silvícola e zootécnica (Ferreira, 2012; Serrano *et al.*, 2016a).

As pastagens que predominam no sistema Montado são caracterizadas pela alta diversidade de espécies que as compõem, o que lhes confere uma elevada heterogeneidade espacial e temporal, pelos diferentes desenvolvimentos das espécies presentes (Fernández-Habas *et al.*, 2021). Um outro fator que afeta as pastagens é a presença das árvores, em especial a copa e a respetiva sombra. Estas têm uma grande influência na produção e qualidade da pastagem visto que nessa zona existe uma redução da taxa de fotossíntese, tendo um impacto negativo na produção de hidratos de carbono para a planta e, conseqüentemente, na produção de matéria seca (Serrano *et al.*, 2019d). No entanto, as zonas de ensombramento que as copas das árvores fornecem aos animais, fazem com que os mesmos passem mais tempo a descansar debaixo destas. A matéria orgânica proveniente das folhas que caem das árvores e as fezes dos animais criam debaixo da copa uma zona de maior fertilidade (Serrano *et al.*, 2019d).

Em Portugal, o Montado é um sistema tradicional de gestão de território que tem sido afetado por mudanças ao longo do tempo, tal como a intensificação de plantações de novas culturas e a implementação de novas práticas agrícolas, fatores que desequilibram o sistema (Ferreira, 2012). Mudanças como a redução inesperada da precipitação e a alteração da distribuição da precipitação ao longo do ano podem fazer com que a produtividade deste tipo de sistema seja afetada, levando também a ter cada vez menor impacto positivo nos serviços de ecossistema (Fernández-Habas *et al.*, 2021)

Para se compreender melhor o desenvolvimento e as interações presentes no Montado, é fundamental que exista uma monitorização e o devido aconselhamento com conhecimento agronómico e zootécnico, de forma a ajudar o proprietário destas áreas a dar resposta em função do que sucede na sua parcela. Assim sendo, é essencial realizar a caracterização do solo, incluindo as propriedades físicas e químicas, a textura, o pH e a fertilidade, de maneira a conseguir atuar de forma diferenciada e adequada para cada situação. O solo é um fator com muita relevância no ecossistema, pois é sobre ele que se desenvolve toda a vida do sistema agro-silvo-pastoril (Serrano *et al.*, 2019c).

De entre todos os fatores que podem ser monitorizados dentro do sistema de Montado, este trabalho debruça-se principalmente sobre a avaliação da pastagem, com o foco na utilização

de sensores próximos para estimativa da produtividade. Estas informações são importantes para realizar a gestão correta da pastagem, de acordo com as necessidades dos animais em pastoreio. No final, as tecnologias de monitorização permitem avaliar a interação entre os vários elementos do ecossistema, solo, animais, árvores e pastagem, permitindo compreender o impacto que cada um tem, visando otimizar a produtividade de uma forma mais sustentável (Serrano *et al.*, 2019c).

2.3. Pastagem

De acordo com Reiner mann *et al.* (2020), não existe uma definição específica para o conceito de pastagens, devido a haver uma grande diversidade em todo o mundo, proporcionando assim uma heterogeneidade que torna cada tipo de pastagem muito específico. Estas não contêm apenas gramíneas ou leguminosas, englobando todo o tipo de vegetação, como infestantes, arbustos ou até mesmo árvores até determinada fase do ciclo vegetativo. Muitas vezes são definidas como classe intermédia, ou seja, na ausência de outro tipo de recurso, denomina-se uma área com vegetação espontânea por pastagem. Em particular, foi definido que a pastagem não deve exceder os 25% de coberto arbustivo, e não deve ter mais de 10% de coberto arbóreo em regiões temperadas e 40% em regiões tropicais (Reiner mann *et al.*, 2020).

Assim, pode definir-se uma pastagem como sendo uma área com cobertura de vegetação herbácea, onde se encontram presentes gramíneas e leguminosas, bem como outras plantas forrageiras, com a finalidade de serem consumidas por ruminantes em pastoreio. Estas plantas são essenciais para a produção animal, nomeadamente ruminantes, pois são eles que melhor as aproveitam. A pastagem na alimentação destes animais, não só permite reduzir custos de produção, como também aumentar a sustentabilidade dos sistemas pecuários (Freixial & Barros, 2012).

As pastagens podem ser classificadas consoante a sua origem, sendo que estas podem ser naturais, onde são compostas pelas espécies que crescem naturalmente no local, ou semeadas, onde existe uma seleção do homem das espécies que introduz. No que diz respeito ao tempo que permanecem na parcela, podem ser temporárias ou permanentes. Ainda podem ser classificadas em pastagens de sequeiro, no caso de não existir fornecimento de água pelo homem, em oposição às pastagens de regadio, quando houver algum fornecimento não natural de água (Freixial & Barros, 2012; Efe Serrano 2006).

2.3.1. Importância da pastagem

Mais de 70% das áreas de produção agrícola em todo o mundo é ocupada por pastagens, desempenhando um papel vital para satisfazer a procura de produtos de origem animal, tonando-se essencial para a subsistência de milhões de pessoas e prestando serviços no ecossistema (Reiner mann *et al.*, 2020). A produção pecuária, assente no pastoreio extensivo, representa um

papel com uma maior importância em países em desenvolvimento, e em especial em famílias com baixos rendimentos (Adar *et al.*, 2023; Bretas *et al.*, 2023; Fernández-Habas *et al.*, 2021).

No que diz respeito aos ruminantes, as pastagens representam a principal fatia na sua alimentação, sendo que existem lacunas de conhecimento no que diz respeito à sua gestão, o que pode gerar prejuízos no sistema de produção (Campana *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2021).

O principal papel de uma pastagem é o fornecimento de alimento para a produção pecuária. No entanto, também contribui para a preservação do ecossistema, tendo um impacto ambiental positivo. Esta desempenha funções ao nível ambiental, que se tornam importantes nos ecossistemas, fazendo a purificação da água, o sequestro de carbono, a promoção de biodiversidade e prevenção da erosão do solo, conseguindo um armazenamento de cerca de 50% a mais do que as florestas, uma vez que ocupam uma área superior na superfície do globo terrestre (Reinermann *et al.*, 2020). Ainda assim, foi comprovado que um desajustado encabeçamento animal numa pastagem não só reduz o sequestro de carbono, como também influencia negativamente o ciclo do azoto, levando a um impacto ambiental menos favorável (Reinermann *et al.*, 2020).

Outra vantagem que se encontra na produção de pastagens, nomeadamente no Montado, é a recuperação do mesmo através da instalação de pastagens biodiversas, ricas em leguminosas, impedindo a sua degradação. Assim, consegue-se uma melhoria das características do solo, bem como da quantidade de alimento disponível para os animais, o que permite a intensificação da produção animal e a obtenção de maior rentabilidade (Freixial & Barros, 2012).

Do ponto de vista agronómico, as pastagens são um tema muito interessante no que diz respeito à realização de rotações de culturas. Inserir os animais no ciclo de produção das plantas, semeando uma pastagem, ou realizando o aproveitamento dos restos, permite uma boa reciclagem de nutrientes aumentando a qualidade do solo. No que diz respeito ao ordenamento do território, o desenvolvimento de uma atividade rentável em zonas mais desfavorecidas contribui para a fixação da população e o consequente equilíbrio demográfico (Freixial & Barros, 2012).

2.3.2. Monitorização das pastagens

A avaliação da pastagem como fonte de alimento para os animais faz-se normalmente em três vertentes: produtividade, qualidade e composição florística (Adar *et al.*, 2023). Desta forma, para, numa exploração agropecuária, se conseguir o manejo adequado da pastagem, é necessária a estimativa precisa da biomassa e do seu valor nutricional, bem como a previsão do encabeçamento animal e dos resultados produtivos pretendidos. A falta desta informação pode comprometer a eficiência do sistema produtivo (Campana *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2021).

Ainda existe uma grande dificuldade em realizar uma estimativa da produção de pastagem, a qual se encontra diretamente relacionada com a morfologia das diferentes espécies botânicas, responsável por heterogeneidade dos teores de matéria seca. As pastagens em geral apresentam uma grande biodiversidade de espécies vegetais, com ciclos vegetativos diferenciados, com influência na produção. Posto isto, é fundamental a escolha do método de estimativa da produção mais adequado, de maneira a minimizar os desvios, tanto por excesso como por defeito (Zanine *et al.*, 2006).

Realizar medições precisas de maneira a estimar e a atribuir quantidades diárias de pastagens aos animais que se encontram em pastoreio, é uma maneira de aumentar a eficiência da produção, traduzindo-se no aumento do lucro. No estudo realizado por Murphy *al.* (2021b), este refere que medições regulares da pastagem podem trazer lucros adicionais de 15% numa exploração agrícola, não necessitando de fornecer alimento externo pelo conhecimento das condições que os animais possuem na pastagem.

É fundamental ajustar não só os períodos de pastoreio e de repouso em sistemas de pastoreio rotativo, como também realizar a estimativa do encabeçamento máximo de animais que se pode aplicar numa determinada área de baseado principalmente na produção de biomassa (Serrano *et al.*, 2016a). A baixa rentabilidade dos sistemas de produção animal extensivos impõe uma limitação no uso de tecnologias de AP no dia-a-dia de uma exploração agrícola. Contudo, a monitorização das pastagens pode beneficiar de sensores que têm sido desenvolvidos nos últimos anos para as culturas arvenses (Schellberg *et al.*, 2008).

Nas pastagens de sequeiro, existe uma dependência exclusiva da água proveniente das chuvas para o seu desenvolvimento, aspeto influenciado pelas variações sazonais, de acordo com as condições climáticas. Desta forma, no outono pode existir um pequeno pico de produção de pastagem, consoante a duração da época de chuvas, onde as combinações da humidade no solo com as temperaturas favoráveis para o desenvolvimento da pastagem podem produzir entre 15% a 35% da matéria seca anual (Efe Serrano, 2006). Com a transição para o inverno e a redução das horas de luz solar e da temperatura, a produção de pastagem é reduzida. Já a partir da primavera, entre os meses de março e maio, dá-se o maior pico de produção de pastagem do ano, através da conjugação favorável dos fatores temperatura e humidade (Efe Serrano, 2006).

Na prática comum de gestão das explorações, a altura média da cobertura vegetal da pastagem é usada para gerir o pastoreio, nomeadamente o encabeçamento animal a implementar, de maneira a evitar o sobre e o subpastoreio, sendo apenas necessário para implementar esta metodologia uma régua graduada, contudo, a dificuldade de leitura é inerente à existência de

plantas com portes e estruturas diferentes (Bretas *et al.*, 2023). Esta dificuldade de medição da produtividade e da qualidade da pastagem aumenta no sistema agro-silvo-pastoril Montado, dada a interação entre o solo, as plantas, as árvores, e sobretudo, os animais em pastoreio (Figura 2). Contrariamente ao corte mecânico de uma forragem para conservação de alimentos, onde a desfoliação é toda realizada de forma homogênea, no pastoreio os animais criam padrões de desfoliação muito característicos, o que faz com que exista uma maior heterogeneidade dentro de uma pastagem, sendo o seu manejo ainda mais complexo (Schellberg *et al.*, 2008; Serrano *et al.*, 2019d).

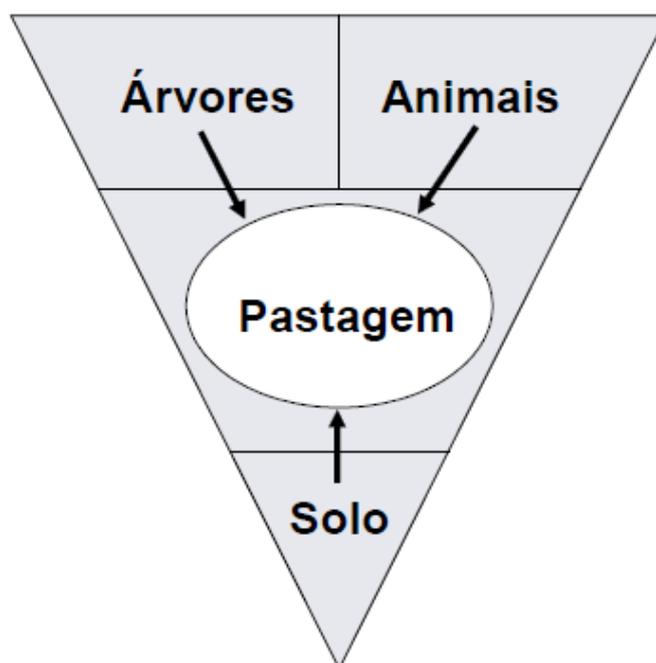


Figura 2: Componentes do ecossistema montado: influência dos fatores sobre a pastagem (Fonte: Serrano *et al.*, 2019d).

2.4. Medição da Produtividade da Pastagem

A gestão correta da pastagem garante um sistema de produção mais sustentável, conseguindo uma melhor conservação de recursos ambientais (Santos *et al.*, 2021). Os métodos de estimativa da produtividade da pastagem dividem-se em dois grupos: diretos, envolvem o corte da pastagem numa área de amostragem delimitada (método destrutivo); indiretos ou não destrutivos, sem qualquer interferência na pastagem, necessitando de menos recursos para o levantamento da produtividade, e sendo menos demorada (Serrano *et al.*, 2011).

2.4.1. Métodos diretos

A medição direta da quantidade de matéria seca na pastagem envolve o corte de amostras de área conhecida (delimitada normalmente por um aro ou uma moldura), com repetição em diferentes zonas da pastagem para conseguir uma representatividade da parcela (Santos *et al.*, 2021). Após o corte, a pastagem é processada em laboratório, depois de pesada em verde, é colocada em estufa a 65 °C até peso constante, sendo depois pesada para determinação da matéria seca, expressa em kg ha⁻¹ (Murphy *et al.*, 2021c).

A medição por corte, ou medição tradicional (método direto), possibilita a obtenção de valores que se aproximam mais da realidade, sendo o mais preciso e, por isso, utilizado em situações experimentais como medição de referência. No entanto, é um processo que se torna moroso e é exigente em termos de mão-de-obra, o que tem custos elevados (Santos *et al.*, 2021; Serrano *et al.*, 2019a). Acresce que estes métodos não se encontram isentos de erros, pois por vezes a área amostrada é pequena, e pode não ser representativa de toda a pastagem, sendo necessário realizar um elevado número de amostras para ter uma boa representatividade da pastagem (Ferraro *et al.*, 2012; Gargiulo *et al.*, 2023).

A medição direta também se pode basear no uso de caixas de exclusão de pastoreio. Este método consiste na colocação destas caixas em pontos estratégicos na parcela. Estas devem ser adequadas ao tipo de animais, preservando as condições normais de crescimento da pastagem, sem alterar nenhum fator de crescimento, sendo o objetivo deste método avaliar a produtividade dentro e fora da caixa, procurando isolar o efeito do pastoreio (Santos *et al.*, 2021).

Para colmatar as limitações dos métodos diretos nomeadamente em termos de escala e de tempo de resposta, têm sido propostos alguns métodos indiretos, de estimativa da produtividade com custos operacionais relativamente baixos e com uma precisão aceitável (Serrano *et al.*, 2011).

2.4.2. Métodos Indiretos

Os métodos indiretos são métodos não destrutivos, que podem ter a precisão necessária para realizar estimativas de produção. Os parâmetros de estimativa mais comuns são a altura e/ou a densidade da pastagem, no entanto existem métodos mais sofisticados, os quais devem ter em conta aspetos como (Santos *et al.*, 2021; Zanine *et al.*, 2006):

- A redução da quantidade de mão-de-obra, de equipamentos e a conseqüente redução dos custos de amostragem;
- A possibilidade de levantamento de dados em áreas onde os animais se encontrem em pastoreio com acessos condicionados, onde seria inviável realizar uma amostragem direta;

- A possibilidade de realização de levantamentos de amostras em pequenas parcelas, onde métodos diretos (destrutivos) alteravam a produtividade relativamente à área da parcela;
- A viabilização da classificação de tratamentos, onde existe um elevado número de contrastes comparativos;
- A elaboração de um guia para realizar a estimativa de produção de pastagem em sistemas de produção animal onde não seja necessária uma medida absoluta.

Os métodos indiretos normalmente exigem uma calibração prévia, o que determina uma dupla amostragem (direta e indireta). Realizada a calibração, as estimativas de produção de pastagem são efetuadas através de curvas de calibração, sendo fundamental que a calibração ocorra em condições representativas daquelas onde o método de determinação indireto irá ser validado (espécies botânicas, variedades, mistura, estado vegetativo, condições climáticas, etc.) (Zanine *et al.*, 2006).

2.4.2.1. Prato medidor ascendente (*Rising Plate Meter*, “RPM”)

O prato medidor ascendente (“RPM”) (Figura 3) é uma ferramenta que mede a altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) e, a partir desta estima a produtividade através de um modelo de regressão linear. A Equação (1) é apresentada pelo fabricante do modelo “*Jenquip EC20*” como proposta média anual, ajustável ao longo do ano (Cauduro *et al.*, 2006; Murphy, *et al.*, 2021b). Neste caso, as alturas medidas e as produtividades são automaticamente guardadas numa aplicação que se encontra carregada no telemóvel do operador.

$$MS \left(\frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \right) = H_{RPM} \times 140 + 500 \quad (1)$$

Este sensor funciona com um prato que corre ao longo de uma haste graduada, de área e peso conhecido, avaliando a massa de pastagem, tendo em conta a densidade em função da pressão exercida. No funcionamento deste sensor o prato é pressionado contra a pastagem, e quando este encontra resistência suficiente para ficar em repouso fornece o valor da sua altura comprimida, sendo preferencialmente utilizado em espécies de pastagem com um porte entre médio e baixo, com folhas macias (Cauduro *et al.*, 2006). Culturas de porte ereto podem dificultar a medição, sendo que zonas com uma maior variabilidade necessitam de maior número de medições para se obter uma melhor reta de calibração (Santos *et al.*, 2021).



Figura 3: Prato medidor ascendente (Rising Plate Meter, RPM) (Fonte: Acesso site: <https://www.jenquip.nz/product-page/ec20-bluetooth-electronic-platemeter>, dia 4 de setembro de 2024)

O “RPM” é um sensor com uma capacidade de recolher até 50 leituras em 15 minutos onde, no levantamento da produtividade de uma parcela, as medições são realizada normalmente em *zig zag*, ao longo da parcela (Murphy *et al.*, 2021b).

Este sensor é o mais utilizado para estimativa da produtividade para os produtores entre a Austrália e Nova Zelândia, no entanto, para se realizar um levantamento da produtividade numa parcela com 150 ha, de maneira a obter uma boa representatividade, são necessárias entre 3 a 6 horas (Gargiulo *et al.*, 2023).

2.4.2.2. Sonda “Grassmaster II”

A “Grassmaster II” é uma sonda eletrônica conhecida como “sonda de capacitância”, cuja função, tal como o “RPM”, é realizar a estimativa da produtividade da pastagem (Santos *et al.*, 2021).

A “GMII” encontra-se pré-programadas de fábrica, com uma equação de calibração (Equação 2), a qual deve ser ajustada para as condições específicas da pastagem em causa (em função do tipo de pastagem e do seu estado vegetativo) (Serrano *et al.*, 2011).

$$MS \left(\frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \right) = 0,72 \times \text{CMR} - 2200 \quad (2)$$

Onde CMR (“Corrected Measure Reading”) são as medições realizadas pela sonda.

Durante o funcionamento desta sonda (Figura 4), um campo elétrico de baixa intensidade é enviado para a pastagem que se encontra em crescimento nas suas proximidades, medindo um diâmetro de 100 mm e uma altura de 400 mm (Serrano *et al.*, 2024). As alterações do campo elétrico que se encontram diretamente ligadas ao teor de humidade da pastagem permitem estimar a produtividade em termos de MS/ha. No entanto, condições climatéricas desfavoráveis como a presença de humidade exterior à planta, impedem as medições. Pastagens relativamente secas (em estados avançados do ciclo vegetativo) também dificultam as medições com esta sonda (Santos *et al.*, 2021; Zanine *et al.*, 2006).

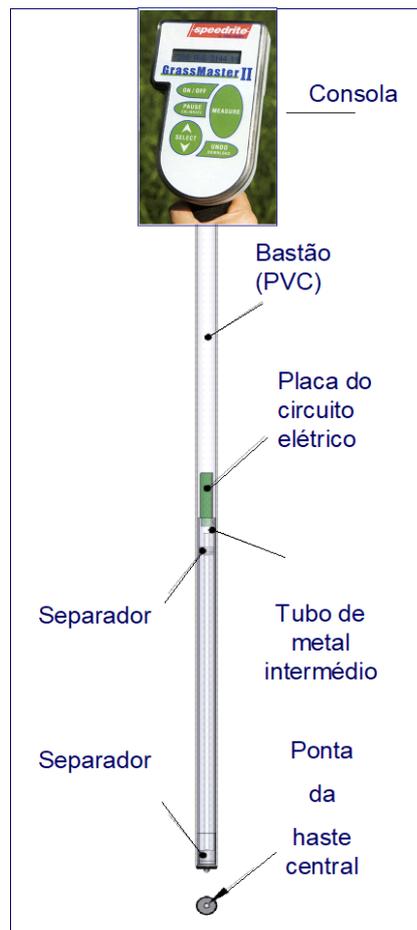


Figura 4: Componentes da sonda "Grassmaster II" (Fonte: Serrano *et al.*, 2016b).

Tal como outros métodos indiretos de levantamento de produtividade da pastagem, é necessário realizar diversas leituras de maneira a conseguir calibrar o sensor antes da utilização do mesmo. Elementos como a diversidade das plantas presentes, a variedade de espécies, o estado de desenvolvimento das plantas ou o nível de humidade na pastagem, fazem com que exista uma maior necessidade de calibração deste sensor, que se tornam numa desvantagem, associada ao custo de aquisição (Santos *et al.*, 2021; Serrano *et al.*, 2019a).

3. Materiais e Métodos

3.1. Local de estudo da fase de calibração

A calibração dos sensores integra-se no projeto de investigação “SUMO – Sustentabilidade do Montado”, tendo sido desenvolvida numa parcela com aproximadamente 4 ha, denominada “Eco-SPAA” (Figura 5), que se localiza na herdade da Mitra (coordenadas geográficas: 38°53,10 N; 8°01,10 W) e onde se encontram georreferenciadas 48 áreas de amostragem, onde foram realizadas medições com os sensores e recolhidas amostras de pastagem.

Nesta parcela está instalado o sistema agro-silvo-pastoril, constituído por pastagens de sequeiro melhoradas, sob Montado de azinho, pastoreadas por ovinos. Este campo experimental encontra-se dividido em 4 parques de pastoreio, cada um com aproximadamente 1 ha: P1- sem aplicação de calcário e com pastoreio contínuo; P2- sem aplicação de calcário e com pastoreio diferido; P3- com aplicação de calcário e com pastoreio diferido; P4- com aplicação de calcário e com pastoreio contínuo.

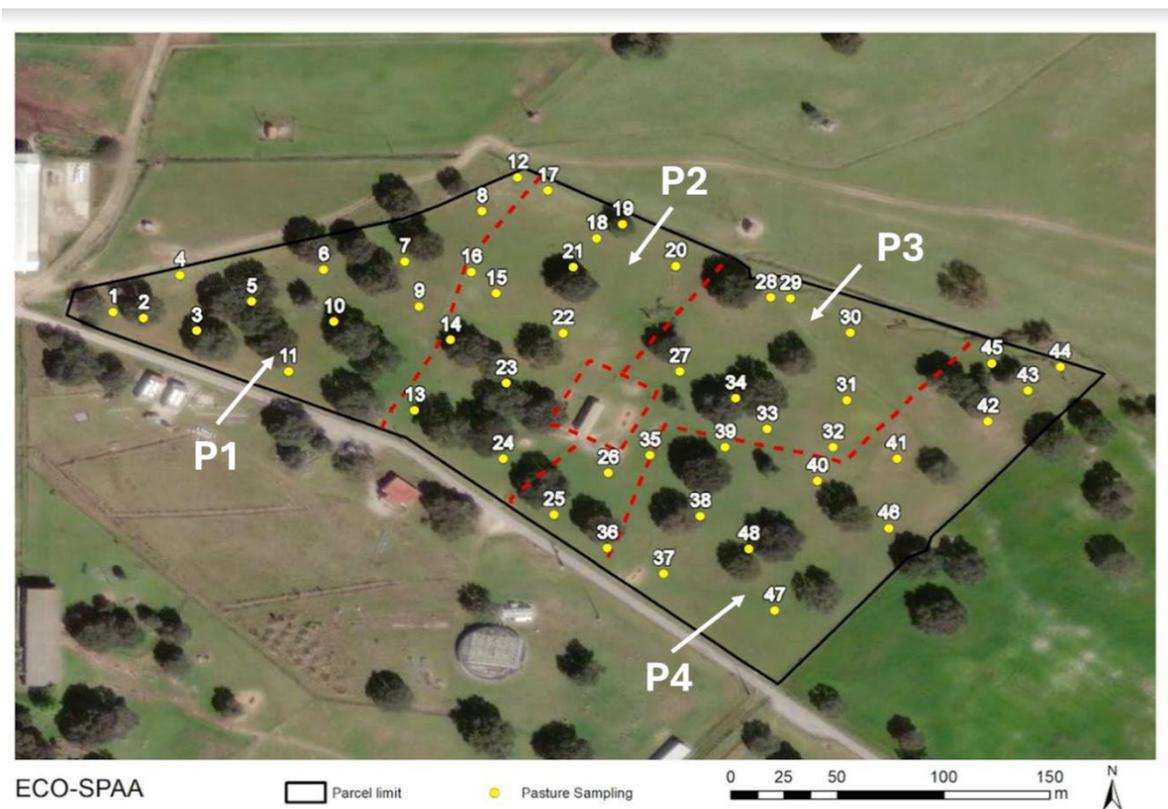


Figura 5: Mapa da parcela “Eco-SPAA”, onde se encontram georreferenciadas 48 áreas de amostragem, em 4 parques de pastoreio (Serrano *et al.*, 2023).

Nesta fase avaliou-se esta parcela durante três períodos distintos, no outono, no inverno e na primavera. Os levantamentos foram realizados a 6 de dezembro, 29 de fevereiro e 10 de maio, procurando, desta forma, captar a variabilidade temporal ao longo do ciclo vegetativo da pastagem (n=144, para a fase de calibração).

Esta pastagem é constituída por leguminosas, gramíneas e outras espécies características de uma pastagem biodiversa de sequeiro num clima mediterrâneo, em particular na região sul de Portugal, com uma elevada predominância nas espécies botânicas *Diplotaxis catholica* e *Erodium mochatum* (Figura 6).

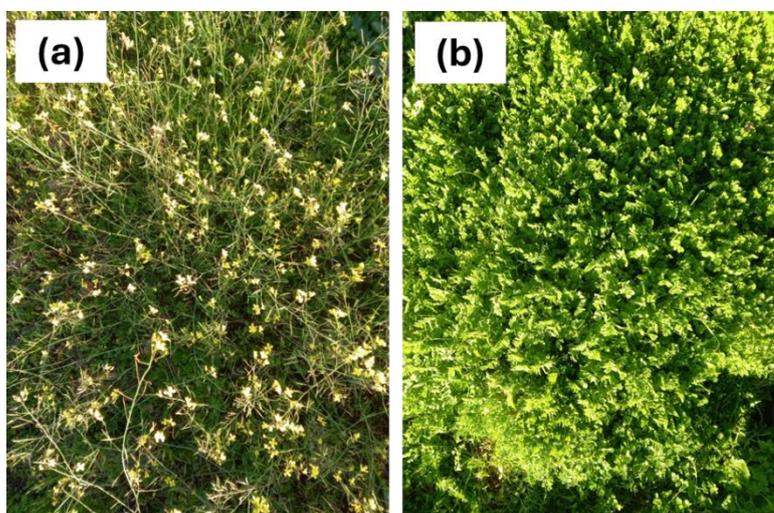


Figura 6: Espécies botânicas predominantes na parcela experimental “Eco-SPAA”: (a) *Diplotaxis catholica*; (b) *Erodium mochatum*.

3.2. Locais de estudo da fase de validação

Esta fase decorreu em quatro parcelas de pastagem (Figura 7): na parcela “Eco-SPAA” (parcela de calibração dos sensores), e em três outras parcelas da Herdade da Mitra, sendo uma pastagem com preponderância de leguminosas para pastoreio de bovinos e duas de pastagem biodiversa, mistura comercial, não pastoreada, destinada a corte e conservação. Foram escolhidas estas parcelas por se encontrarem relativamente próximas da pastagem da fase de calibração e por apresentarem características bastante diversas para testar a robustez do modelo de estimativa e, simultaneamente, procurando zonas representativas das pastagens de sequeiro no Alentejo. Nesta fase de validação, que decorreu entre dezembro de 2023 e abril de 2024, foram recolhidas 144 amostras compósitas em 18 áreas representativas (6 em cada tipo de pastagem).

Os dezoito pontos de validação foram ordenados pela sua origem de recolha. Assim para a validação foram realizados 6 testes de campo na parcela “Eco-SPAA” (“M_P”; 1,2,4,8,13 e 18), sendo estes os principais, para validação da calibração dos sensores; 6 testes realizados no campo de leguminosas pastoreado por bovinos (“L_P”; 3,9,10,14,16 e 17); e 6 para a mistura comercial anual de espécies botânicas para forragens em dois campos “M_F(a)” (5,6,7 e 15) e MF(b) (11 e 12).

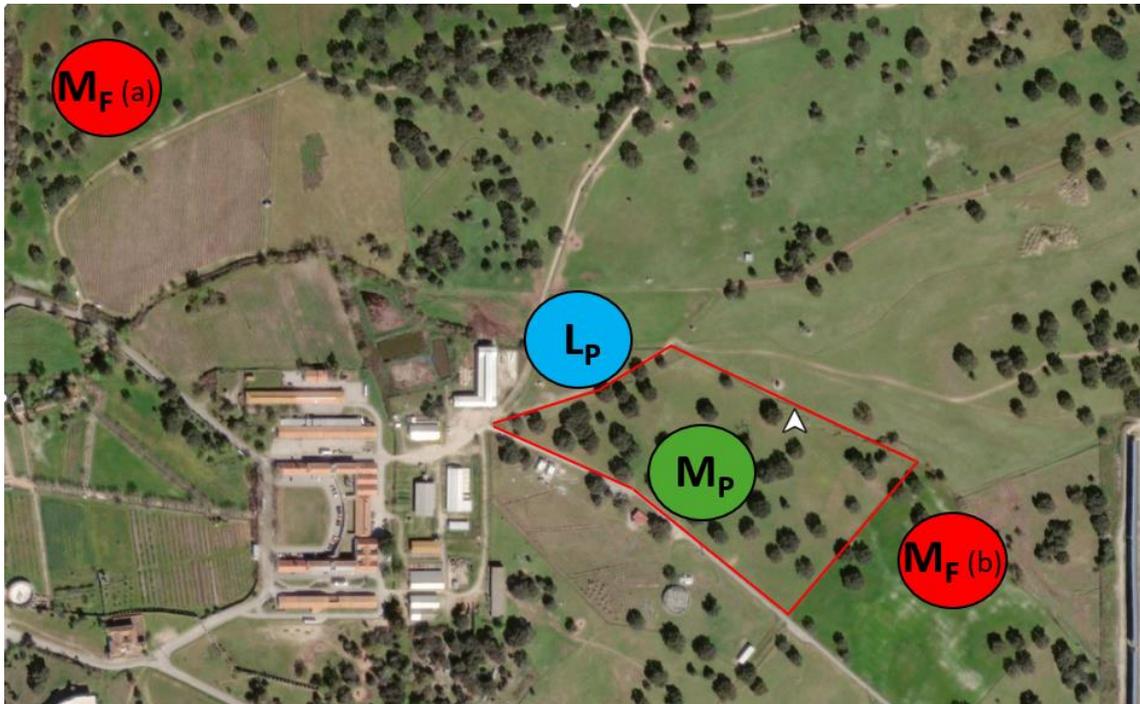


Figura 7: Localização das parcelas de ensaio na Herdade da Mitra (M_F- mistura para forragem; L_P- leguminosas para pastoreio; M_P- mistura para pastoreio).

Na Figura 8 encontra-se caracterizada a parcela “M_P”, uma zona de pastagem plurianual biodiversa, pastoreada por ovinos, que tem na sua composição florística espécies como gramíneas espontâneas (Figura 8a), *Diplotaxis catholica* (Figura 8b), *Erodium mochatum* (Figura 8c), *Trifolium repens*, entre outras. A Figura 9 é uma ilustração da espécie predominante na parcela “L_P”, a qual integra uma pastagem permanente para bovinos, onde predomina a espécie *Trifolium repens*.

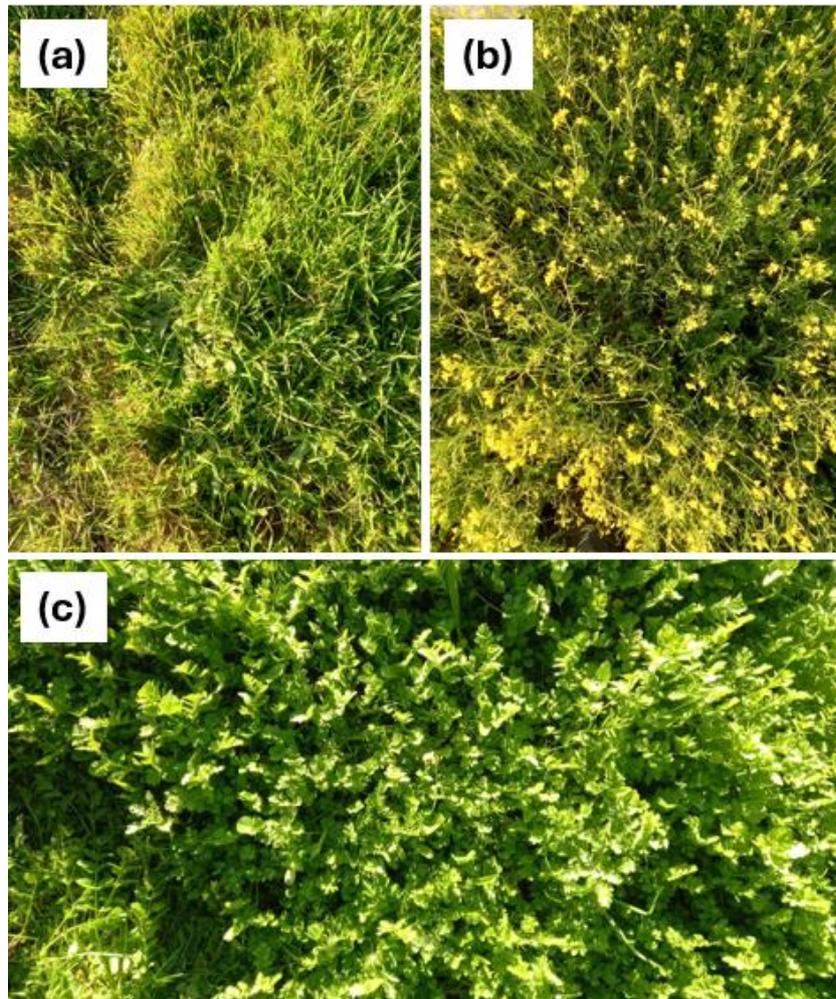


Figura 8: Espécies botânicas de pastagens presentes na mistura para pastagem (M_p): (a) gramíneas espontâneas; (b) *Diplotaxis catholica*; (c) *Erodium mochatum*.



Figura 9: Espécies botânicas presentes nas leguminosas para pastagens (L_p): *Trifolium repens*.

A Figura 10 ilustra a diversidade existente nas duas parcelas “M_F”, as quais foram semeadas com uma mistura de espécies botânicas anuais que se destinam ao corte e conservação, para serem fornecidas como opção forrageira em alturas de escassez alimentar na pastagem. Na composição botânica predominam as espécies *Lolium multiflorum* (Figura 10a) e *Trifolium spp* (Figura 10b).

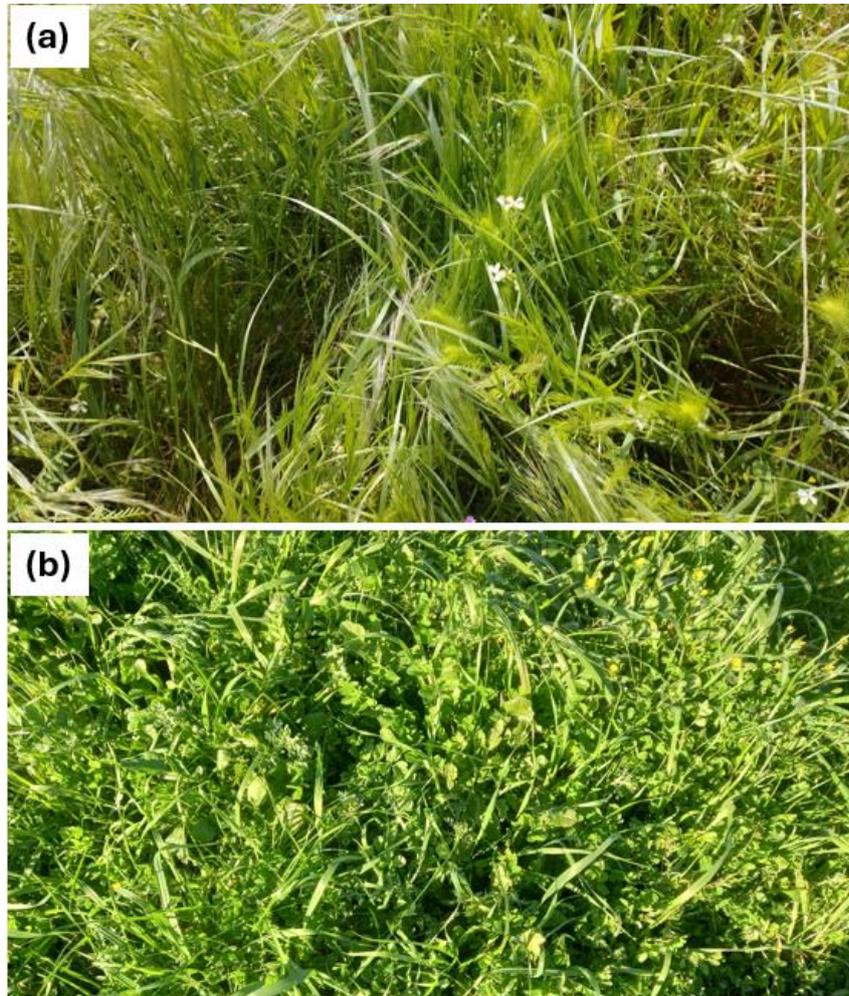


Figura 10: Mistura biodiversa de leguminosas e gramíneas (“Naturmix”; M_F): *Lolium multiflorum* (a), *Trifolium spp.* (b), entre outras.

3.3. Caracterização climática

A variação da precipitação e da temperatura ao longo do período de crescimento da pastagem determinam a produtividade desta. Foram utilizados dados da “Estação Meteorológica de Évora”, que se localiza a cerca de 10 km da Herdade da Mitra onde decorreu este estudo, e dados da normal climatológica do período 1991-2021.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região de Évora é do tipo “Csa” (clima temperado húmido), com precipitação a ocorrer de forma mais concentrada nos meses de outono, inverno e primavera, com verões secos, sendo um clima tipicamente Mediterrâneo. A Figura 11 ilustra a normal climatológica para o triénio 1991-2021, referente aos meses abrangidos por este estudo.

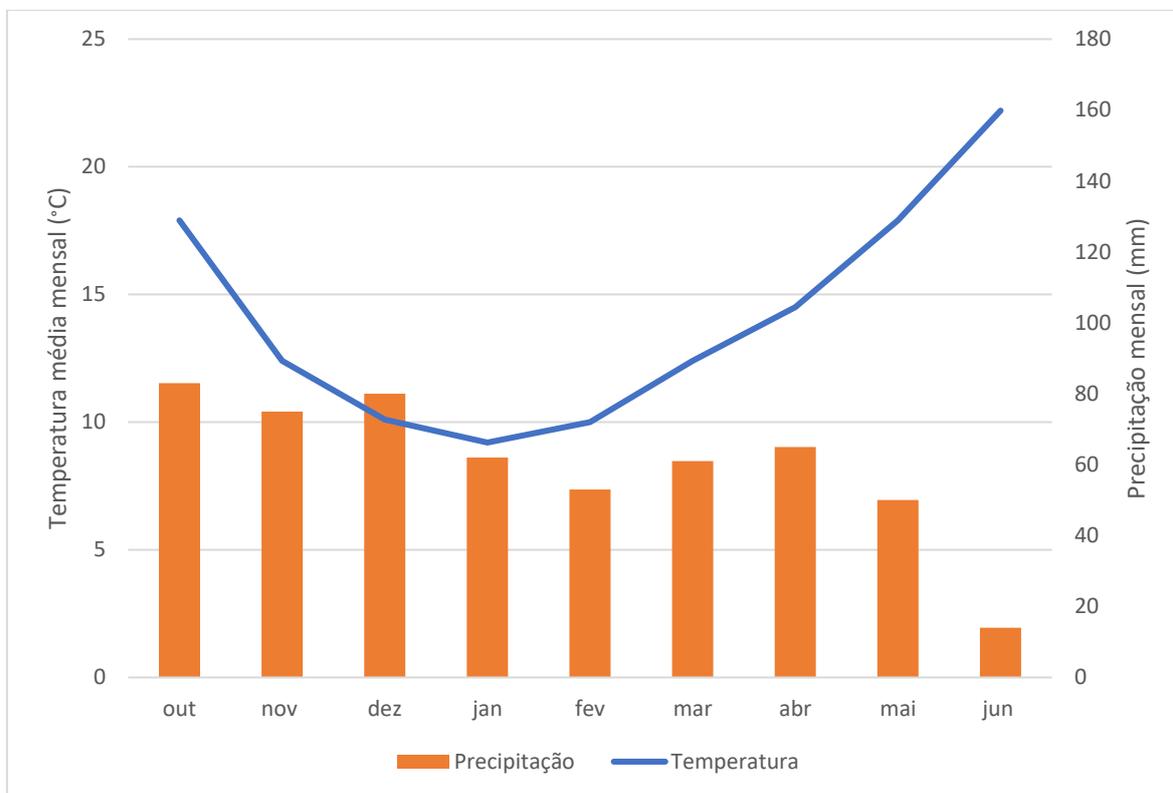


Figura 11: Diagrama termopluviométrico referente ao triénio 1991-2021 para a Estação Meteorológica de Évora (site: <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/evora/evora-135/>, no dia 2 de outubro de 2024).

O gráfico da Figura 12 ilustra a variação da temperatura média mensal e da precipitação acumulada no ano agrícola de 2023/2024, correspondente ao período de recolha de amostras para calibração e validação dos sensores utilizados para a estimativa de produtividade da pastagem. A conjugação deste binómio precipitação/temperatura permite justificar a evolução da pastagem durante a estação de crescimento.

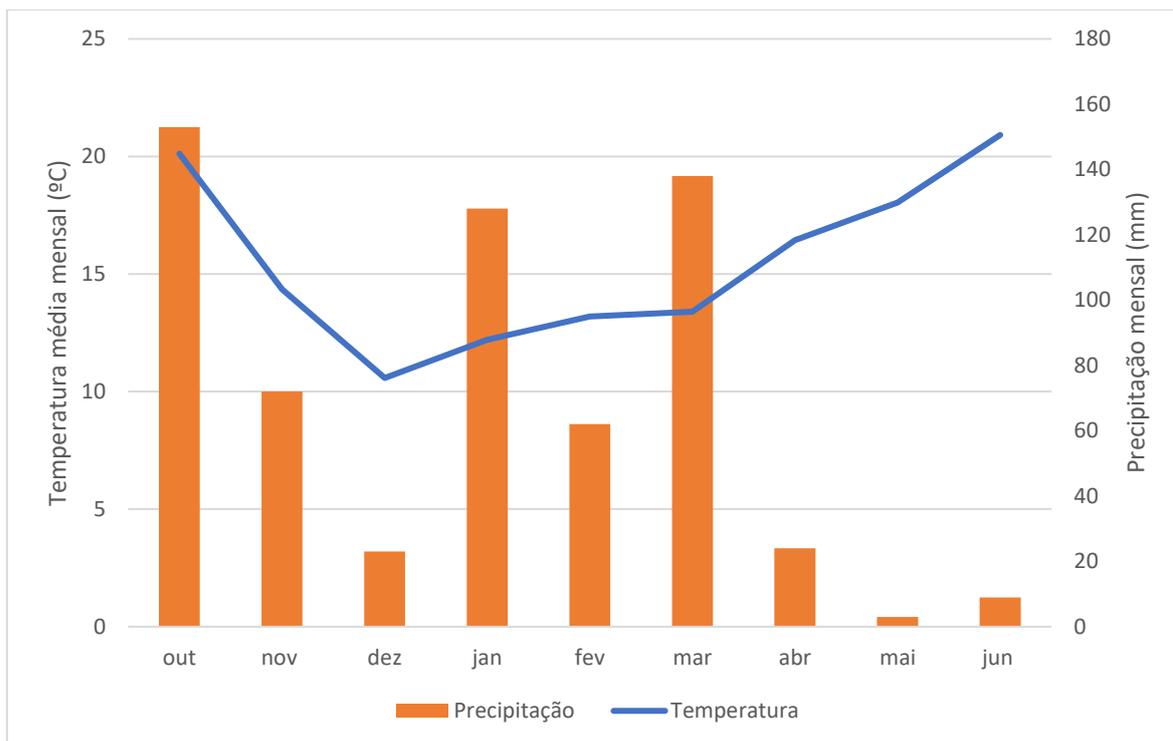


Figura 12: Diagrama da temperatura média mensal e da precipitação acumulada referente ao ano agrícola de 2023/2024 da estação meteorológica de Évora.

No que diz respeito à temperatura, na comparação com os valores da normal climatológica 1991-2021, os meses de janeiro e fevereiro de 2024 registaram subidas significativas (3,0°C e 3,2°C, respetivamente). Por outro lado, a precipitação total acumulada no período entre outubro de 2023 e junho 2024 foi de 612 mm, cerca de 70 mm acima da normal climatológica (543 mm). Contudo, a distribuição da precipitação ao longo do ano agrícola 2023/2024 foi mais irregular, com um período de maior precipitação entre os meses de outubro e março (576 mm, enquanto a normal indicava 414 mm), e de menor precipitação entre abril e junho (36 mm, enquanto a média histórica indicava 129 mm). Em termos de meses, dezembro foi o mês de maior diferença, por defeito, relativamente à média histórica, com valores de cerca de um terço do registado na normal climatológica, enquanto março foi o mês maior diferença, por excesso, com a precipitação a ser mais do dobro da normal climatológica. Pode assim perceber-se que foi um ano fora do comum, com os valores de precipitação e de temperatura muito desfasados do padrão da normal climatológica.

3.4. Equipamentos

Neste trabalho foram usados diferentes tipos de equipamentos, entre eles, sensores para estimar a produtividade da pastagem por métodos não destrutivos, e outros para aferir e calibrar os sensores que foram utilizados.

Os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- Régua graduada (Figura 13a) e/ou craveira digital (Figura 13b);



Figura 13: Régua graduada (a) e craveira eletrônica (b).

- Aro de ferro delimitador da área de amostragem (Figura 14a) e tesoura de corte (Figura 14b).

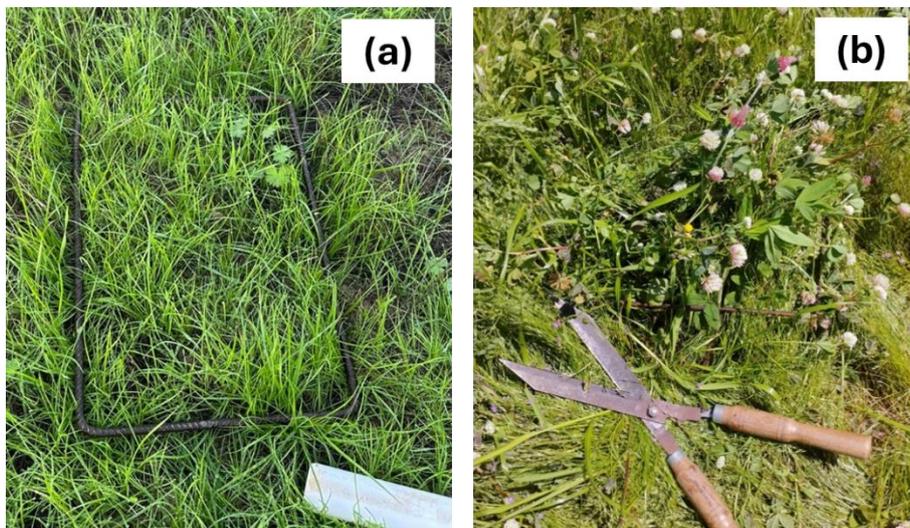


Figura 14: Aro metálico (a) e tesoura de corte das amostras de pastagem (b).

- Sonda “Grassmaster II” (“GMII”; Figura 15a);
- Prato medidor ascendente (“Rising Plate Meter”, “RPM”; Figura 15b) e aplicação para telemóvel para leitura dos dados (Figura 15c).

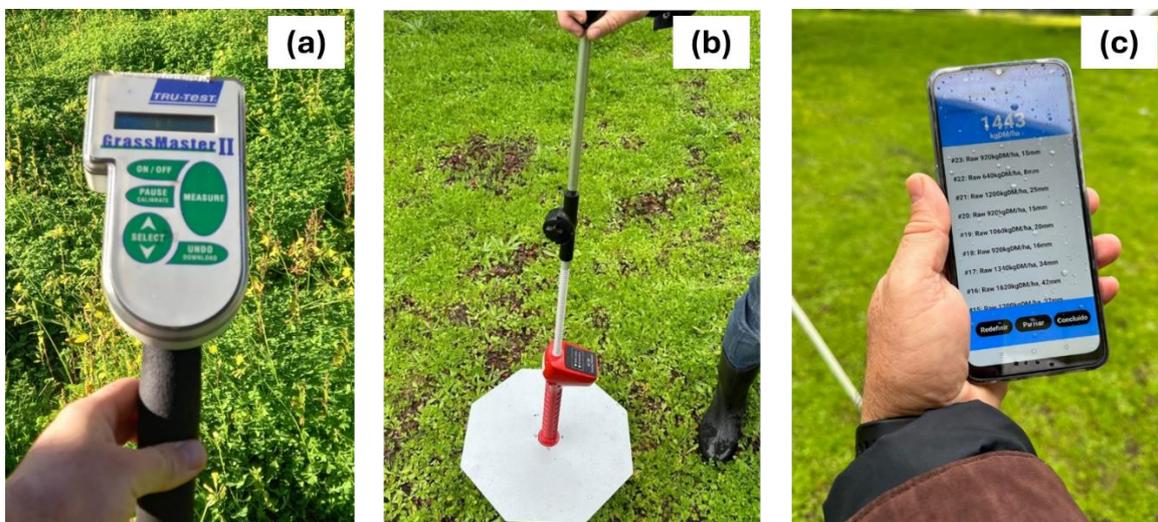


Figura 15: Sonda “Grassmaster II” (a); prato medidor ascendente (“RPM”; b) e respetiva aplicação para telemóvel (c).

3.5. Metodologia dos ensaios

A realização deste estudo dividiu-se em duas fases: a fase de calibração dos modelos de estimativa da produtividade pastagem; e a fase de validação dos respetivos modelos. Estas fases incluem procedimentos em comum, tanto no que diz respeito à recolha com os sensores, como na parte da análise laboratorial, diferindo apenas na metodologia de recolha de amostras.

O principal foco deste ensaio recaiu no “RPM”, por constituir a primeira utilização nas condições de pastagens em Portugal, procurando avaliar potenciais vantagens e desvantagens, comparativamente a outros métodos de estimativa da produtividade da pastagem.

Tanto para a calibração como para a validação foi fundamental realizar a recolha de amostras em diferentes estados de desenvolvimento da pastagem, como mostram as imagens da Figura 16, de modo a poder comparar o comportamento dos sensores em face da evolução da pastagem ao longo do ciclo, com alteração significativa das características da pastagem, nomeadamente em termos de altura e dos teores de humidade.

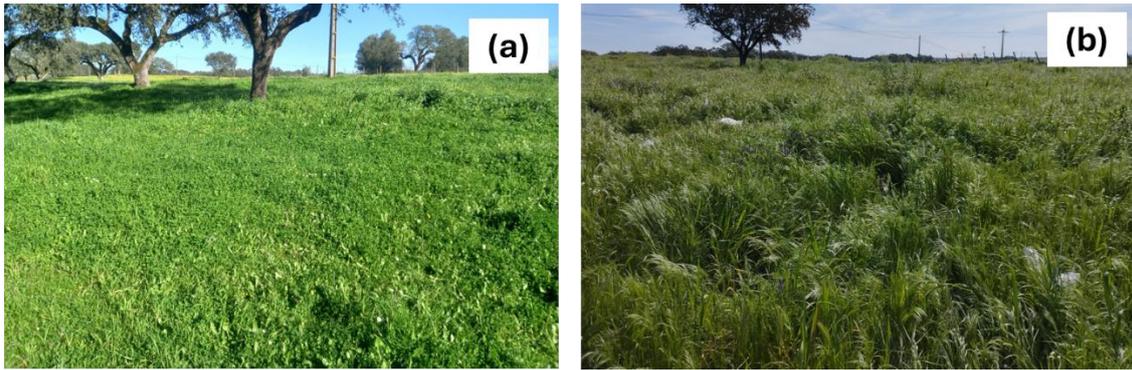


Figura 16: Imagem do desenvolvimento vegetativo da pastagem em 22 de janeiro de 2024 (a) e em 17 de abril de 2024 (b).

3.5.1. Procedimento de calibração dos modelos de estimativa da produtividade

Para a realização da calibração dos modelos de estimativa foi utilizada a parcela “Eco-SPAA”, onde foi organizada uma equipa de trabalho (Figura 17a) para realização das medições com os sensores e recolha de amostras de pastagem. O primeiro procedimento foi a medição da altura da pastagem, realizada com uma régua graduada (Figura 17b) ou com uma craveira digital (nos casos onde a pastagem se encontrava com menor dimensão), facilitando a leitura do operador. A medição da altura da pastagem em cada área de amostragem (com cerca de 3 m²) foi repetida três vezes, de forma a obter uma maior representatividade de cada área. De seguida, foi feita a leitura da produtividade estimada com a sonda “GMII”, com a realização de 6 medições em cada área, e com o “RPM”, com base na realização de 3 medições da altura comprimida (Figura 17b).



Figura 17: Equipa de trabalho durante as medições com sensores na parcela experimental “Eco-SPAA” durante a fase de calibração (a); pormenor da medição da altura com régua graduada e da altura comprimida com o “RPM” (b).

Após os procedimentos com os sensores, procedeu-se à recolha de uma amostra compósita da pastagem. Em cada área de amostragem foram recolhidas 3 sub-amostras, em áreas de 0,5 m × 0,5 m delimitadas por um aro metálico, utilizando uma tesoura manual ou uma máquina de corte elétrica (Figura 18).



Figura 18: Recolha de pastagem na área delimitada para constituição da amostra compósita.

3.5.2. Procedimento de validação dos modelos de estimativa da produtividade

Para validação dos modelos de estimativa da produtividade a partir das medições realizadas pelos sensores foram realizados ensaios ao longo do ciclo vegetativo, sendo que para obter uma maior representatividade foram selecionadas zonas diferentes, com diversos tipos de pastagem. Dentro de cada zona de amostragem selecionada, procedeu-se à colocação de sacos marcadores em 8 pontos de amostragem (Figura 19), procurando que estes contemplassem a respetiva heterogeneidade, especialmente em termos de altura da pastagem (altas, baixas e intermédias). Procedeu-se de seguida ao registo fotográfico de cada zona de amostragem.



Figura 19: Seleção e identificação dos pontos de amostragem em cada zona escolhida na fase de validação.

Após a marcação dos 8 pontos em cada zona de amostragem, foram realizados os mesmos procedimentos indicados na fase de calibração, incluindo a medição com a régua graduada, a medição com a “GMII” (Figura 20a) e a medição com o “RPM” (Figura 20b). Procedeu-se no final ao corte e recolha das respetivas 8 amostras compósitas de pastagem.



Figura 20: Medições com os sensores nas zonas de amostragem da fase de validação: medições com a “Grassmaster II” (a); medições com o “RPM” (b).

3.6. Processamento laboratorial das amostras de pastagem

As amostras de pastagem foram transportadas para o laboratório do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, procedendo-se à sua pesagem e respetivo registo (peso húmido; Figura 21a), sendo de seguida colocadas numa estufa a uma temperatura de cerca de 65° (Figura 21b), permanecendo nesta entre 72 e 96 h, até peso constante (peso seco). Estas pesagens permitiram calcular a produtividade da pastagem em kg de MV ha⁻¹ e kg MS ha⁻¹ e, por diferença, o teor de humidade, expresso em percentagem.



Figura 21: Processamento laboratorial das amostras de pastagem: pesagem (a) e desidratação em estufa (b).

3.7. Tratamento de dados

Os dados obtidos, após as recolhas de campo, tanto da fase de calibração como na fase de validação, foram organizados por datas e inseridos no programa Excel. Procedeu-se ao cálculo dos parâmetros estatísticos média, desvio padrão, intervalo de variação, coeficiente de variação (CV) e erro médio (*Root Mean Square Error*, RMSE). O CV fornece a informação do grau de dispersão dos valores em relação à média, servindo também como parâmetro de avaliação para a variabilidade espacial de cada parâmetro analisado.

Tanto para a fase de calibração, como para a fase de validação, foram estabelecidas regressões lineares entre a altura da pastagem e a altura comprimida (H/H_{RPM}), entre a altura da pastagem e a produtividade (H/MS), entre a altura comprimida e a produtividade (H_{RPM}/MS), e entre as medições da sonda “GMII” e a produtividade (CMR/MS). O coeficiente de determinação (R^2) foi usado como aferidor da qualidade das regressões entre parâmetros: valores altos de R^2 significam

que o modelo de regressão consegue explicar uma elevada percentagem dos casos que ocorrem naquela situação, tornando-se uma boa ferramenta de análise. Um outro parâmetro estatístico utilizado para avaliar a capacidade dos modelos de estimativa é o RMSE, o qual mede a diferença média entre os valores previstos de MS (baseados na medição de cada sensor) e os valores de referência, determinados em laboratório, permitindo quantificar a dimensão do erro (em kg ha^{-1}) do modelo de estimativa relativamente à determinação de referência (laboratorial).

4. Resultados

Neste trabalho foram utilizadas duas bases de dados que serviram de suporte para a análise dos valores recolhidos, bem como para a criação de modelos de estimativa da produtividade da pastagem.

As bases de dados deste trabalho encontram-se resumidas nas Tabelas 1 e 2, referentes, respetivamente, às fases de calibração e de validação.

Tabela 1: Estatística descritiva referente à base de dados de produtividade da pastagem, na fase de calibração (número de amostras compósitas de pastagem em cada data = 48).

Teste	Parâmetros	MV	MS	Hum	H	H _{RPM}	CMR
		(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(mm)	(mm)	
1	Média (CV, em %)	6254 (68,3)	610 (50,3)	89,0 (3,7)	105,4 (43,8)	53,8 (53,2)	5057 (21,8)
	IV	1423-21090	237-1703	79,7-93,4	33,3-293,3	19,0-133,0	3370-7675
2	Média (CV, em %)	13256 (53,2)	1885 (41,2)	85 (3,8)	163,5 (43,6)	103,1 (46,6)	5764 (18,5)
	IV	3867-27917	580-3533	75-91	65,7-360,0	31,3-213,0	3893-7689
3	Média (CV, em %)	8245 (57,7)	2353 (47,1)	69,9 (9,8)	251,0 (48,9)	77,8 (42,0)	5326 (27,9)
	IV	2580-25037	933-5400	51,9-80,2	83,3-550,0	29,0-160,0	3425-9934

CV- Coeficiente de variação; IV- intervalo de variação; MV- Matéria verde; MS- Matéria Seca; Hum- Humidade da pastagem; H- Altura; H_{RPM}- Altura comprimida, medida pelo prato compressor ascendente (“RPM”); CMR- Leitura corrigida medida pela sonda “Grassmaster II”.

Os diversos parâmetros que medem a produtividade da pastagem apresentam uma grande variabilidade espacial (CV na ordem dos 50%), tanto os valores medidos diretamente por sensores (H, H_{RPM} e CMR), como os parâmetros obtidos nas determinações laboratoriais (MV, MS e Hum).

A quantidade de biomassa por unidade de área (MV ou MS, kg ha⁻¹) apresenta um padrão de evolução temporal, reflexo da sazonalidade climática, com a produtividade média em termos de MS a aumentar de 610 kg ha⁻¹ em dezembro para 1885 kg ha⁻¹ em fevereiro e chegando a 2353 kg ha⁻¹ em maio.

Tabela 2: Estatística descritiva referente à base de dados de produtividade da pastagem, na fase de validação (número de amostras compósitas de pastagem em cada teste = 8).

Teste (n)	Parâmetros	MV (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	Hum (%)	H (mm)	H _{RPM} (mm)	CMR
1	Média (CV, em %)	13003 (52,5)	1346 (34,9)	88,7 (2,7)	172,5 (41,3)	67,4 (36,9)	5891 (20,9)
	IV	4590-25890	730-2160	84,1-91,7	80-260	29-128	3621-8956
2	Média (CV, em %)	15426 (54,2)	2260 (41,6)	84,1 (4)	341,4 (30,6)	128,2 (41,4)	7136 (16,3)
	IV	6050-26210	1040-3470	78,9-88,2	230-500	63-247	4664-10483
3	Média (CV, em %)	18084 (56,9)	1684 (45,5)	90,0 (1,3)	182,5 (24,4)	92,0 (19,1)	6242 (20,7)
	IV	6220-3358	720-2690	88,4-92	110-250	55-134	4371-9153
4	Média (CV, em %)	8373 (37,8)	1456 (25,5)	81,8 (3,4)	222,5 (40,9)	92,0 (37,7)	7526 (32,0)
	IV	4850-12890	960-1970	76,5-85	100-326	24-152	4285-11076
5	Média (CV, em %)	18749 (49,2)	2301 (42,2)	87,2 (1,5)	253,8 (38,1)	120,4 (38,5)	7997 (23,3)
	IV	8040-31710	1200-3670	85,1-88,6	100-380	57-209	5267-12947
6	Média (CV, em %)	12281 (19,4)	1763 (22,0)	85,7 (1,1)	186,3 (24,3)	77,0 (12,5)	7050 (13,6)
	IV	9250-15830	1270-2510	84,1-86,8	130-260	58-88	5163-9542
7	Média (CV, em %)	15269 (23,6)	2195 (23,6)	85,5 (1,9)	256,3 (30,2)	135,5 (28,1)	8122 (15,6)
	IV	7750-18700	1240-2840	83,2-87,6	130-380	68-213	5479-11078
8	Média (CV, em %)	20443 (41,9)	2534 (35,1)	87,2 (1,7)	238,8 (40,7)	111,2 (50,1)	7630 (33,7)
	IV	6720-33930	1050-3600	84,4-89,4	150-400	43-245	3981-16901
9	Média (CV, em %)	24520 (45,1)	2771 (47,0)	88,5 (1,8)	231,3 (41,4)	108,5 (31,1)	9794 (31,0)
	IV	10410-42600	1350-5290	87-91	120-400	58-174	4610-15794
10	Média (CV, em %)	52130 (30,8)	5288 (31,7)	90,1 (1,3)	270,0 (18,1)	171,1 (25,0)	8150 (19,8)
	IV	24734-72240	2603-7648	88,9-92,2	220-350	92-245	5489-12446
11	Média (CV, em %)	34251 (43,1)	4514 (36,2)	86,5 (1,5)	461,3 (20,1)	232,2 (10,6)	11276 (18,6)
	IV	13413-62499	1940-7119	84,8-88,6	340-580	151-246	6588-15554
12	Média (CV, em %)	35008 (43,3)	3925 (45,1)	88,8 (1,4)	501,3 (21,5)	208,7 (21,4)	10634 (23,4)
	IV	15290-54344	1562-6340	86,8-90,8	370-640	127-246	6597-16264
13	Média (CV, em %)	28139 (30,9)	4090 (24,9)	85,1 (4,2)	292,5 (26,1)	153,3 (20,7)	8212 (29,8)
	IV	21890-49170	3140-6080	76,7-87,6	190-380	90-206	4053-13375
14	Média (CV, em %)	30146 (44,6)	4586 (33,6)	84,3 (1,9)	388,8 (29,7)	201,1 (22,6)	9568 (29,8)
	IV	19490-58410	3230-7470	82,4-87,2	250-600	106-246	5265-19104
15	Média (CV, em %)	28390 (28,0)	5820 (33,3)	79,5 (3,5)	573,8 (20,5)	249,0 (0,4)	10589 (21,8)
	IV	21170-43370	4220-7850	75,7-84,9	380-740	226-250	6142-15535
16	Média (CV, em %)	24101 (25,3)	4186 (25,2)	82,5 (2,1)	296,3 (12,9)	195 (5,2)	8925 (10,0)
	IV	15990-30410	2790-6040	80,1-85,9	240-340	112-232	6185-10057
17	Média (CV, em %)	27746 (27,8)	4824 (28,9)	82,4 (3,3)	440 (30,5)	146,8 (42,5)	8662 (22,1)
	IV	16700-39850	3570-7310	80,1-85,9	300-630	60-247	5122-13196
18	Média (CV, em %)	25628 (24,5)	4612 (23,9)	77,5 (32,5)	407,2 (29,1)	158,2 (19,9)	9132 (18,7)
	IV	14281-34989	3427-6834	72,8-82,7	281-539	71-250	6378-14008

CV- Coeficiente de variação; IV- intervalo de variação; MV- Matéria verde; MS- Matéria Seca; Hum- Humidade da pastagem; H- Altura; H_{RPM}- Altura comprimida, medida pelo prato compressor ascendente (“RPM”); CMR- Leitura corrigida medida pela sonda “Grassmaster II”.

O gráfico da Figura 22 mostra a evolução da produtividade e humidade da pastagem ao longo do tempo, nas 3 datas de amostragem da fase de calibração.

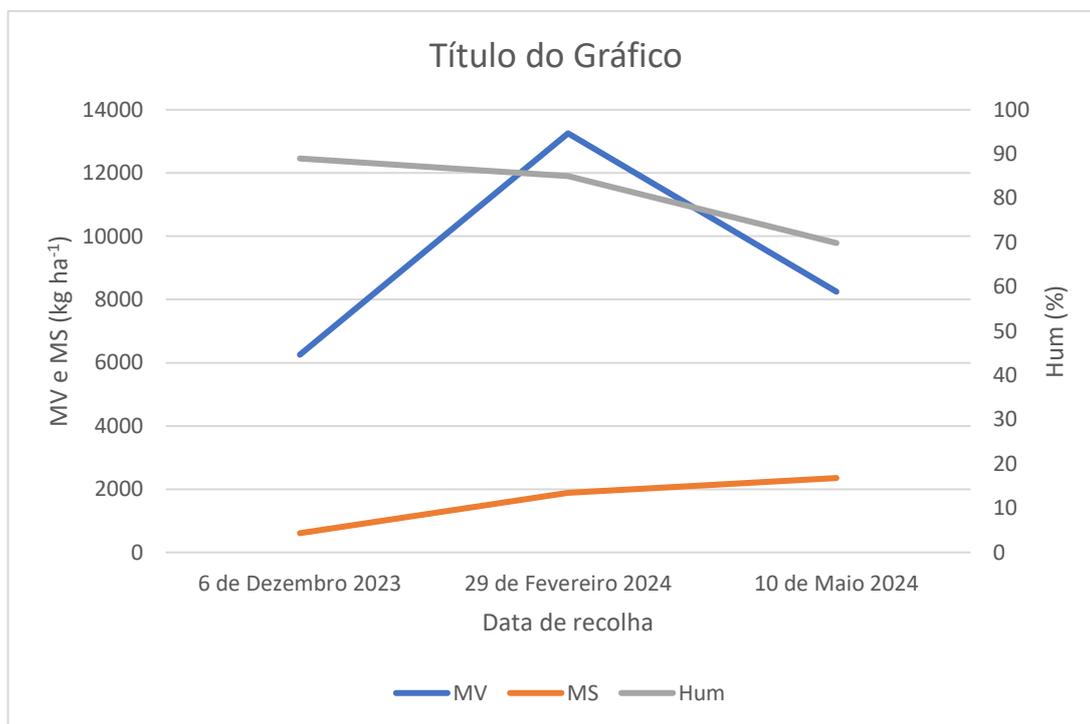


Figura 22: Evolução dos teores de matéria verde (MV; kg ha⁻¹), matéria seca (MS; kg ha⁻¹) e humidade (Hum; %) durante o período de amostragem da fase de calibração.

4.1. Relação entre variáveis: Fase de calibração

Na fase de calibração foram avaliadas as relações entre a altura da pastagem (H, medida com a craveira digital) e a altura comprimida da pastagem (H_{RPM} medida com o "RPM"). A Figura 23 ilustra a correlação positiva existente entre estes dois parâmetros, em três datas diferentes, sendo uma relação significativa com o R^2 a variar entre 0,56 e 0,70. O rácio H/H_{RPM} aumentou ao longo do ciclo vegetativo.

Nas Figuras 24, 25 e 26 são apresentadas, respetivamente, as relações entre as medições da altura (H), da altura comprimida (H_{RPM}) e da CMR, com a MS, sendo estas significativas nas três datas de amostragem. Uma das principais tendências, comum a todas estas análises, é de dispersão no final da fase de desenvolvimento da pastagem, que se traduz numa quebra acentuada do R^2 .

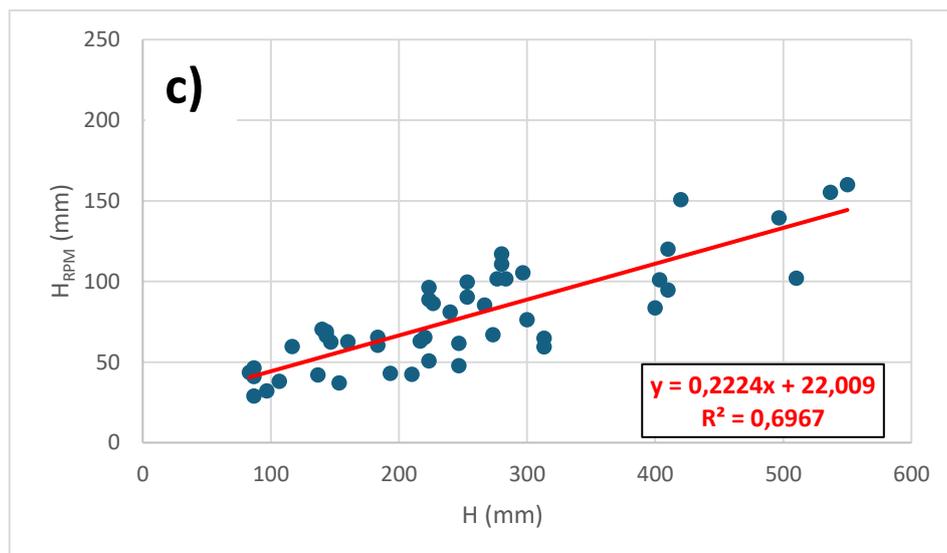
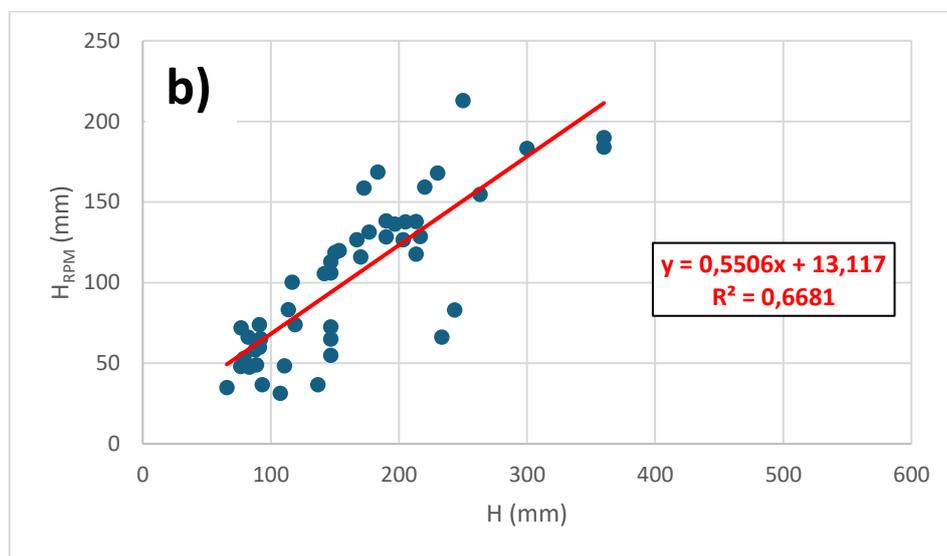
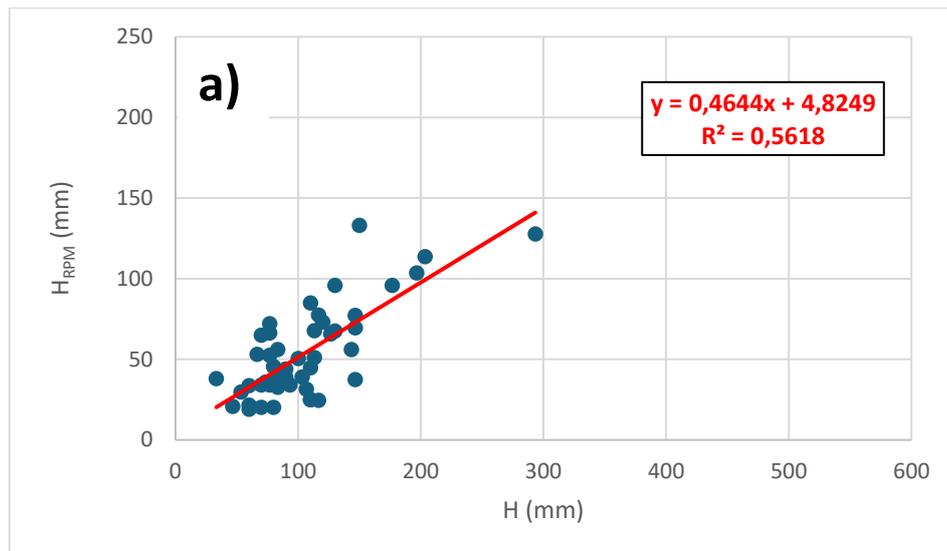


Figura 23: Relação entre a altura comprimida (H_{RPM}) e altura da pastagem (H) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b) e maio (c).

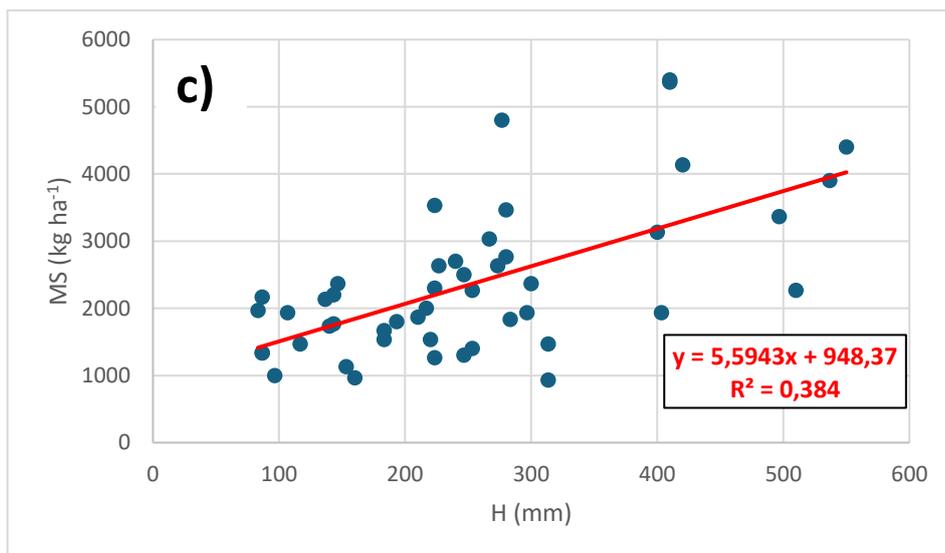
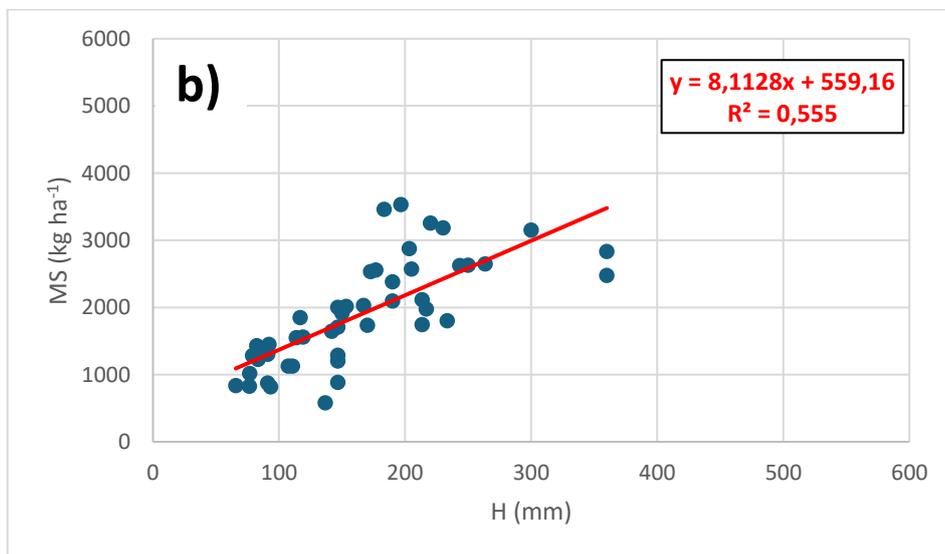
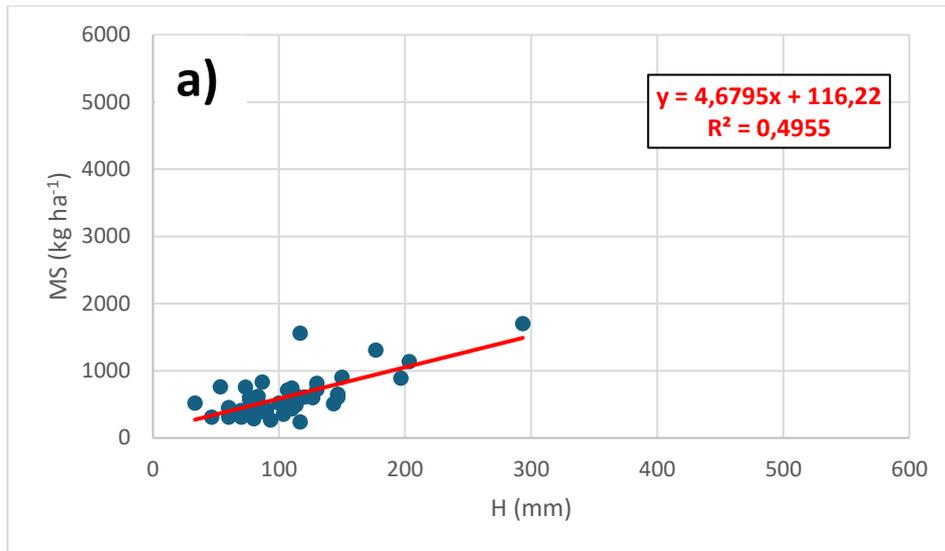


Figura 24: Relação entre a produtividade em termos de matéria seca (MS) e a altura da pastagem (H) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b) e maio (c).

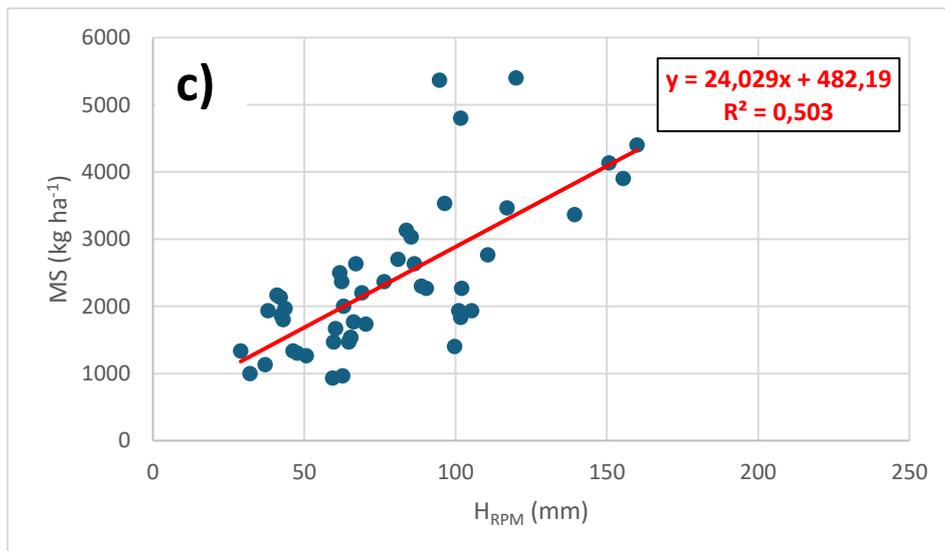
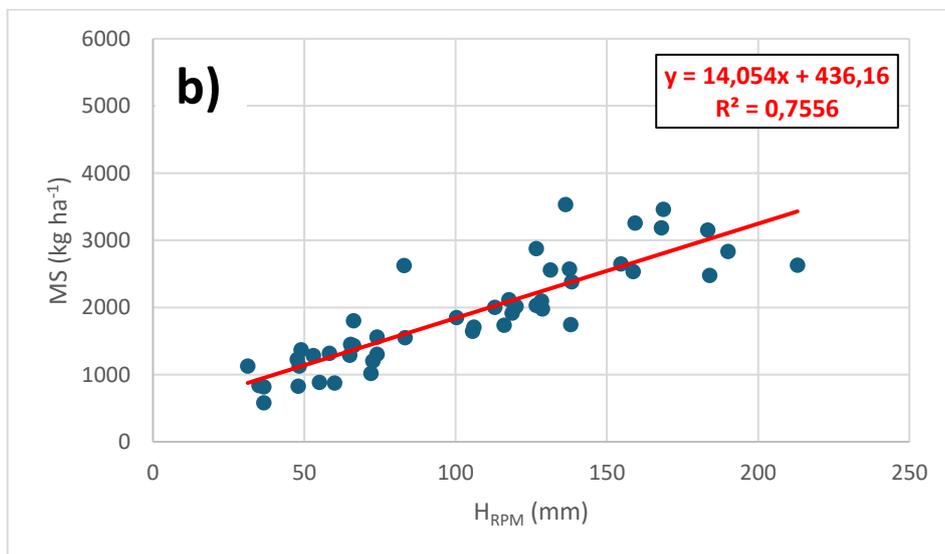
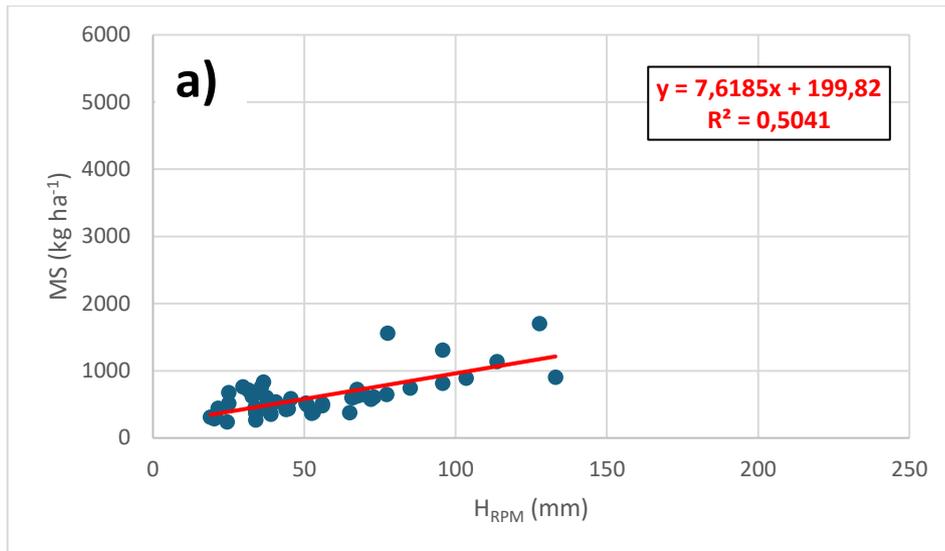


Figura 25: Relação entre a produtividade em termos de matéria seca (MS) e a altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b) e maio (c).

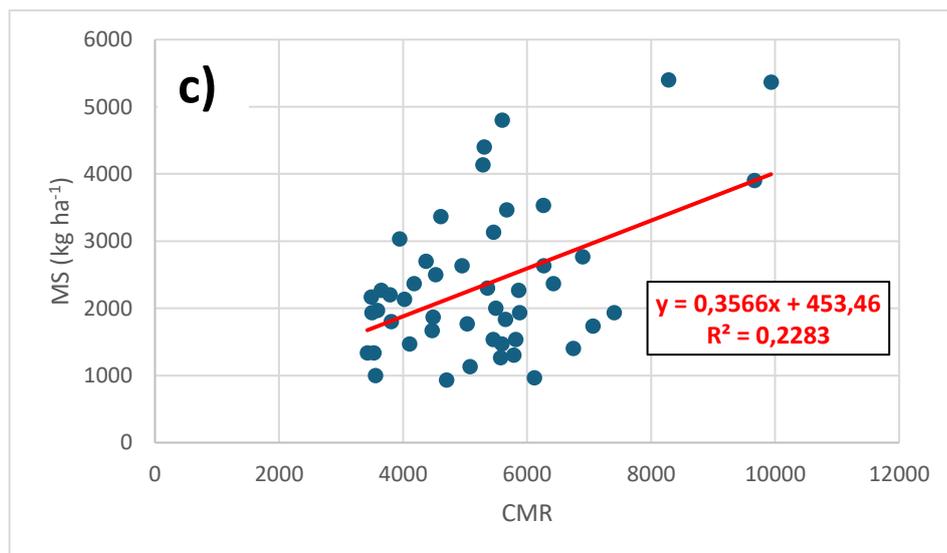
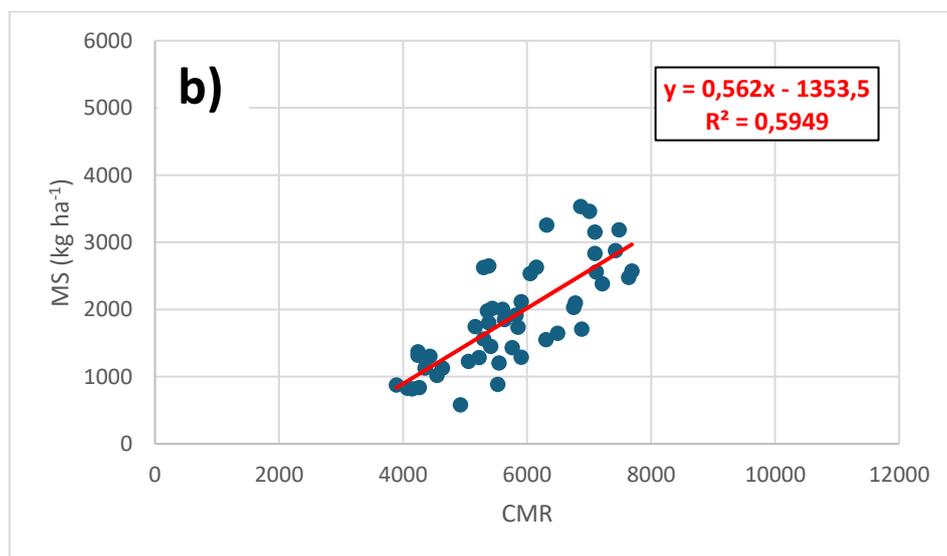
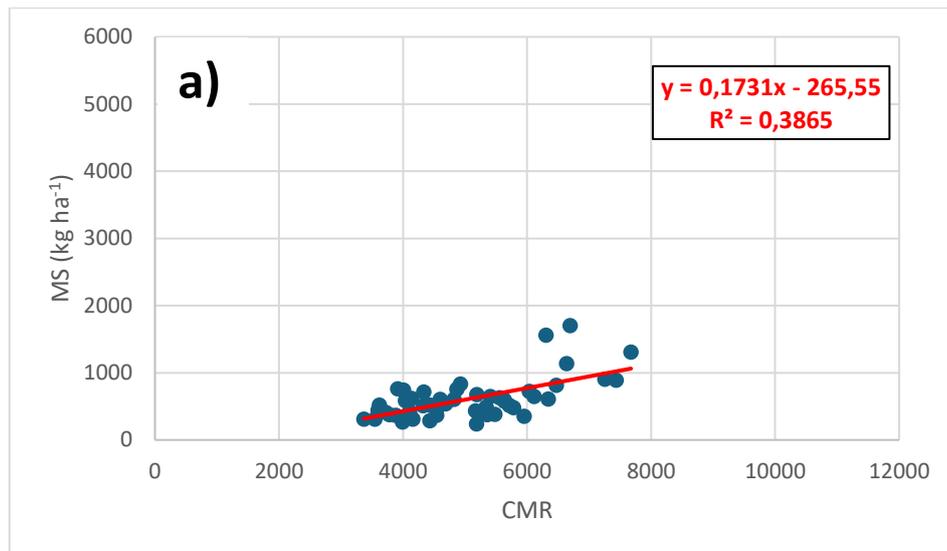


Figura 26: Relação entre a produtividade em termos de matéria seca (MS) e a leitura da sonda “Grassmaster II” (CMR) nos testes de calibração: em dezembro (a), fevereiro (b), e maio (c).

Os resultados mostraram também uma maior precisão na estimativa da MS baseada na altura comprimida (H_{RPM}), relativamente à estimativa a partir da altura (H) medida pela craveira digital, ou da medição da sonda “GMII”, em todas as fases do ciclo vegetativo monitorizadas.

Em todas as medições realizadas é evidente a influência que tem a estação e a altura do ano, com variação dos coeficientes (a e b) das retas de regressão linear e dos coeficientes de determinação respetivos entre os meses de dezembro, fevereiro e maio, o que justifica a proposta de abordagem de definir modelos de calibração para diferentes estações do ano, neste caso para o outono, o inverno e a primavera. Relativamente à estimativa baseada nas medições da “GMII”, o melhor modelo foi obtido nas medições realizadas em fevereiro ($R^2=0,6$; Figura 26b). No caso do “RPM”, a associação dos dados das datas de outono e inverno ($n=96$) permitiu uma melhoria no coeficiente de determinação ($R^2=0,75$; Figura 27).

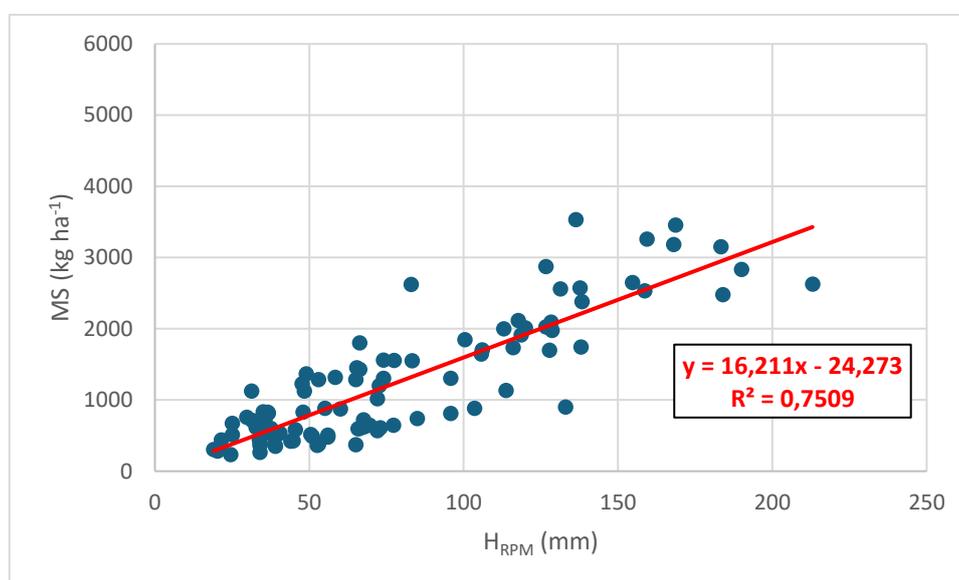


Figura 27: Modelo de estimativa da matéria seca da pastagem (MS) baseado nas medições da altura comprimida (H_{RPM}), associando dados de dezembro e fevereiro ($n=96$).

4.2. Relação entre variáveis: Fase de validação

Nesta fase foi importante garantir que a validação envolvesse pastagens de sequeiro representativas, por um lado, da região do país em questão (Alentejo) e, por outro, das pastagens usadas neste estudo, na fase de calibração (neste caso, misturas de espécies integradas em pastagens melhoradas). Foram realizados seis testes (um terço) na mesma parcela (“Eco-SPAA”) onde decorreu a fase de calibração (M_P), outros seis testes foram realizados numa forragem destinada ao corte e conservação (M_F) e os restantes seis testes foram realizados numa parcela de pastagem destinada ao pastoreio de bovinos, com predominância de leguminosas (L_P). À semelhança da fase de calibração, foram realizadas análises de regressão entre os valores médios dos vários parâmetros obtidos nos 18 testes de validação. Os resultados dessas análises são apresentados na Figuras 28 (entre a altura comprimida, H_{RPM} e altura, H) e 29 (entre a MS e as medições H , H_{RPM} e CMR).

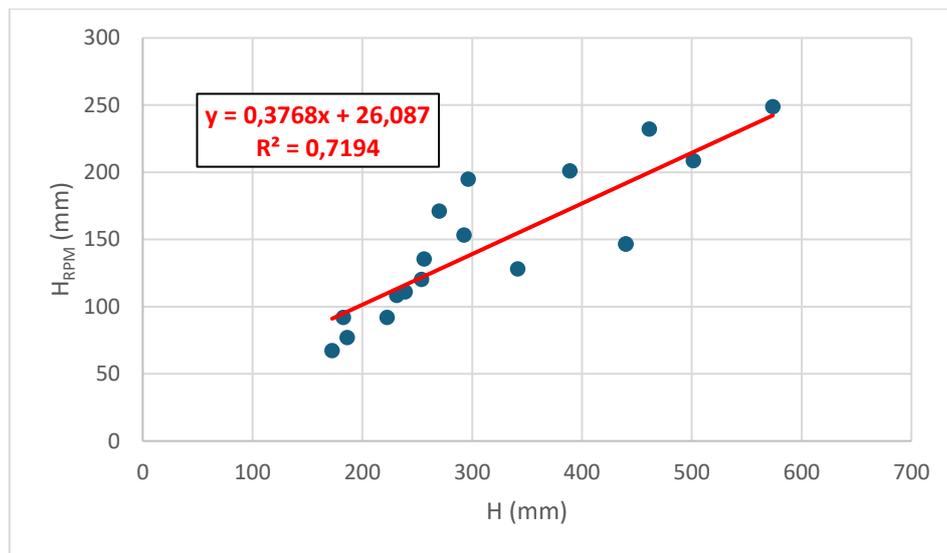


Figura 28: Testes da fase de validação: Relação entre altura (H) e altura comprimida da pastagem (H_{RPM}).

Os valores apresentados na Tabela 2 e nos gráficos das Figuras 28 e 29 mostram um padrão muito idêntico ao obtido da fase de calibração, com uma relação significativa entre H e H_{RPM} (Figura 28; $R^2=0,72$), entre MS e H (Figura 29; $R^2=0,62$), entre MS e H_{RPM} (Figura 29b; $R^2=0,72$) e entre MS e CMR (Figura 29c; $R^2=0,51$).

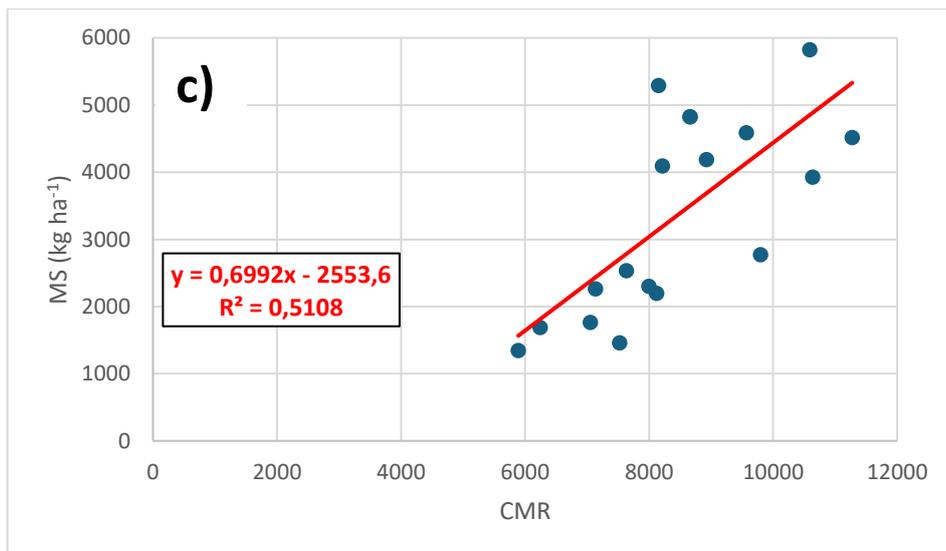
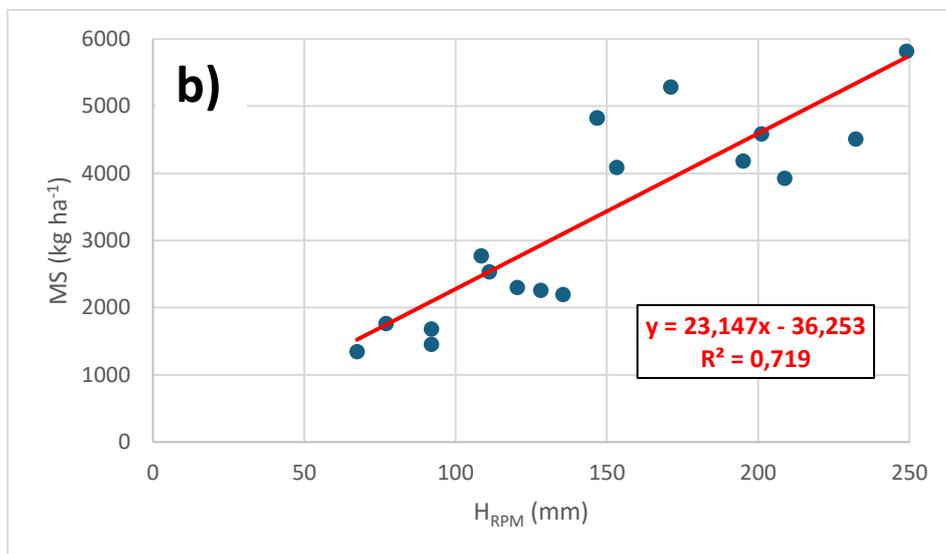
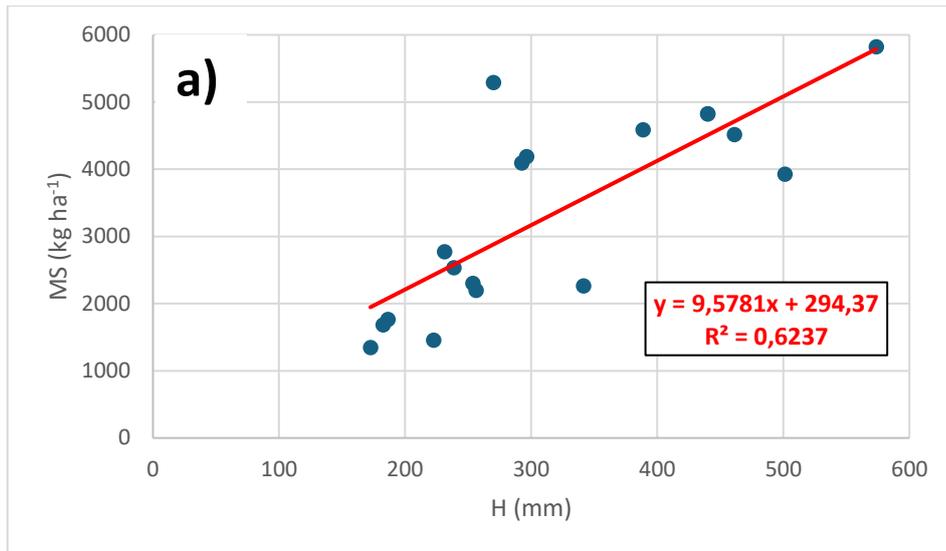


Figura 29: Testes da fase de validação: Relação entre a MS e altura (a), altura comprimida (H_{RPM}) (b) e medições da sonda "Grassmaster II" (CMR) (c).

5. Discussão

5.1. Variabilidade temporal da pastagem

Este estudo mostra a significativa variabilidade temporal das características da pastagem ao longo de todo o ciclo vegetativo. As medições foram realizadas em três datas durante o período de crescimento da pastagem (dezembro, fevereiro e maio), procurando obter uma boa representatividade das fases que determinam a evolução do ciclo vegetativo. O padrão do desenvolvimento da pastagem e da evolução da sua qualidade é bastante afetado pelo binómio temperatura/precipitação, sendo característico das pastagens de sequeiro da região Mediterrânea (Serrano *et al.*, 2016a). Segundo Ferraro *et al.* (2012) basear um estudo em apenas uma fase do ano (utilizando uma única reta de calibração, para um sensor) não só induz os produtores em erro, como pode resultar em rendimentos mais baixos.

O desenvolvimento da pastagem foi acompanhado durante o processo de recolha de dados. Com base nos dados meteorológicos representados na Figura 12 pode observar-se que o outono foi, no ano em avaliação, um período de maior ocorrência de precipitação (248 mm), o que, conjugado com as temperaturas médias nos meses de outubro e novembro (20,1°C e 14,4°C, respetivamente), geram um pico de produção no final do outono, característico das pastagens de sequeiro. A precipitação que ocorreu durante o inverno, nomeadamente entre janeiro e março (328 mm), com a temperatura média dos três meses a rondar os 13°C, e tendo em conta que nesta altura se verifica o aumento do número de horas de Sol, conjugaram condições para manter um bom desenvolvimento da pastagem, chegando ao pico de produção máximo na primavera (abril-maio) (Efe Serrano, 2006). Este desenvolvimento esperado da pastagem foi confirmado na amostragem realizada durante o período do levantamento de dados. Verificou-se uma variação progressiva e significativa da produção média de matéria seca por hectare entre datas de medição: 610 kg ha⁻¹ em dezembro, 1885 kg ha⁻¹ em fevereiro e 2353 kg ha⁻¹ em maio. Estes resultados estão em linha com os obtidos por Serrano *et al.* (2019a), nas mesmas condições edafo-climáticas (solos fracos e delgados; clima Mediterrâneo). A Figura 22 mostra uma representação gráfica da evolução da pastagem ao longo do período de recolha de amostras, com a humidade a baixar com o avanço do ciclo vegetativo da pastagem. Por outro lado, a evolução da matéria seca (MS) mostra um aumento contínuo durante o período em análise, o mesmo já não acontece com a matéria verde (MV), uma vez que existe a redução da humidade, com a consequente perda de peso. Este acontecimento é o reflexo do que foi ilustrado na Figura 12, existindo uma redução da precipitação no mês de abril e maio, o que antecipa o período de senescência das plantas, consumindo água e nutrientes presentes nas folhas e caules para poderem passar à fase de reprodução cessando o seu crescimento (Efe Serrano, 2006).

5.2. Variabilidade espacial da pastagem

A aplicação de novas tecnologias de agricultura de precisão às pastagens é um desafio complexo devido à elevada diversidade inerente. Esta ocorre devido às variações espaciais do solo, da pastagem, e da dinâmica existente entre espécies botânicas (Schellberg *et al.*, 2008). Um dos aspetos a ter em conta é o CV das medições realizadas. Valores elevados de CV são sinónimo de variabilidade espacial e ocorre devido à interação entre os sensores (e outras ferramentas utilizadas nas medições) e as pastagens, para além da influência do elevado número de espécies botânicas presentes nestas pastagens, da estação do ano e da intensidade do pastoreio praticada (Murphy *et al.*, 2021a, b e c).

O local onde foi realizado o ensaio da calibração dos sensores (“Eco-SPAA”), apresenta uma grande diversidade de espécies botânicas, como é possível identificar nas figuras apresentadas na descrição dos campos experimentais. Esta é uma característica típica das pastagens de sequeiro (Efe Serrano, 2006) acentuada pela gestão variável das quatro parcelas do campo experimental “Eco-SPAA”, sujeitas a tratamentos diferenciados: aplicação versus não aplicação de calcário dolomítico; e pastoreio contínuo versus pastoreio diferido, como referido por Serrano *et al.* (2024).

Para captar esta variabilidade espacial é necessário recolher um elevado número de amostras, perspetivando uma maior representatividade. De acordo com Murphy *et al.* (2021c), para se conseguir atenuar a subjetividade de cada operador, os locais de amostragem devem ser estabelecidos de forma aleatória e com uma distribuição equilibrada por toda a pastagem. No trabalho de campo que serviu de base a esta dissertação foram georreferenciadas 48 áreas de amostragem (12 em cada parque do campo experimental “Eco-SPAA”), selecionadas por um especialista em botânica com base no levantamento da composição florística. Estas áreas mantiveram-se ao longo de todo o período de monitorização respeitante a este estudo. Para a minimização dos erros de amostragem (medições com os sensores e recolha e processamento das amostras de pastagem), também contribui a manutenção da equipa envolvida (Murphy *et al.*, 2021a), como foi implementado neste estudo.

Na Tabela 1 podemos observar que os valores de CV foram entre os 41% e os 50%, para a matéria seca e entre os 53% e os 68%, para a matéria verde, sendo valores elevados, que nos mostram logo numa primeira análise à produtividade da parcela que existe uma grande variabilidade espacial, associada à heterogeneidade, com espécies botânicas diferentes e com diferentes composições florísticas.

Uma outra maneira de identificar a variabilidade dentro da parcela em estudo é avaliar os resultados obtidos nas medições realizadas pelos sensores. O modo de funcionamento dos

sensores utilizados para a medição da produtividade da pastagem (“RPM” e “GMII”) é, em termos de medições do campo, semelhante à utilização da medição da altura com régua graduada. A grande diferença e vantagem comparativa advém de os primeiros não exigirem o registo manual de dados, sendo estes automaticamente registados nos respetivos dispositivos eletrónicos. Desta forma, os procedimentos são mais rápidos e tornam-se mais práticos, facilitando o subsequente processo de análise dos dados. Associar estes sensores a sistemas de georreferenciação (GNSS) permite, através de SIG, elaborar mapas onde é possível representar e evidenciar a variabilidade espacial da produtividade (Gargiulo *et al.*, 2020) facilitando também a sua análise.

A variabilidade espacial da produtividade da pastagem registada neste estudo (Tabela 1), é da ordem dos 40 a 50% para as medições realizadas com o “RPM”. De acordo com os resultados apresentados em Santos *et al.* (2021) os valores médios de CV apresentados são de 31% para o outono, 25% para o inverno e 28% para a primavera, estando claramente abaixo dos valores obtidos no presente estudo, o que pode ser justificado por se tratar de pastagens com uma única espécie.

Já para a sonda “GMII” os valores de CV registados situaram-se entre os 20-30% nas medições de calibração realizadas. Estes resultados vão ao encontro do que foi apresentado por Serrano *et al.* (2019a), tendo obtido CV para a “GMII” entre 20% e 40% (o que aconteceu nos meses de fevereiro e maio), e entre 30% e 45% para a MS, refletindo o princípio de funcionamento da sonda. Esta é sensível aos teores de humidade da pastagem e refletem-se nas retas de calibração, sendo que o valor mais baixo de CV coincidiu com o segundo levantamento (realizado em fevereiro), que, por sua vez, apresenta o melhor resultado desta sonda. Estes valores também estão dentro do intervalo de CV de 30-50% obtidos noutros trabalhos (Fernández-Habas *et al.*, 2021; Huyghe *et al.*, 2014). Estes autores sugerem que a heterogeneidade de uma pastagem aumenta significativamente a dificuldade na realização de estimativas de produções médias de matéria seca. Essa dificuldade resulta também do efeito do pastoreio, uma vez que os animais têm maior apetência por determinadas espécies botânicas, ou por permanecer em certas zonas da pastagem, influenciando tendencialmente as zonas de desfoliação e de aumento de teores de matéria orgânica (pelas fezes e urina) através da permanência em zonas com maior preferência (Serrano *et al.*, 2024).

Murphy *et al.* (2021a) realizaram uma revisão de trabalhos publicados sobre a monitorização de pastagens com a utilização de tecnologias expeditas, em climas temperados (portanto, com um ciclo de desenvolvimento da pastagem diferente do ciclo vegetativo das pastagens sob clima Mediterrâneo), tendo, apesar de tudo, registado valores de CV entre os 25% e os 46%.

5.3. Relação entre variáveis: Produtividade

No presente estudo realizou-se inicialmente uma análise de regressão linear entre a altura (H, medida com ajuda de uma craveira digital ou régua graduada), e a altura comprimida da pastagem (H_{RPM} , lida pelo sensor “RPM”). Esta relação foi significativa nas três datas, tendo obtido coeficientes de determinação de 0,56 (dezembro), 0,67 (fevereiro) e de 0,70 (maio) (Figura 23 a, b e c, respetivamente). Também é possível observar que a razão H/H_{RPM} tende a aumentar com o avanço do estado vegetativo das espécies botânicas durante a estação de crescimento. Este comportamento denuncia mudanças fisiológicas que ocorrem durante o crescimento das espécies botânicas presentes nas pastagens (Murphy *et al.*, 2021b).

Outro ponto fundamental que este estudo vem confirmar é o efeito significativo da evolução da pastagem ao longo do seu ciclo de crescimento, que interfere no estabelecimento de correlações entre as medições indiretas e a produtividade da pastagem (matéria seca em kg ha^{-1}). Desta forma, vários autores defendem que para conseguir uma melhor representatividade da produtividade de uma pastagem é fundamental adaptar equações de calibração às condições específicas em que é realizada a medição da pastagem, tal como a altura do ano em que a mesma é efetuada (Cauduro *et al.*, 2006; Ferraro *et al.*, 2012; Murphy *et al.*, 2021c).

Neste estudo foi demonstrado que existe uma tendência para a diminuição acentuada do R^2 no final da primavera, o que se deve às mudanças morfológicas que ocorrem na transição do estado vegetativo para o reprodutivo, quando as plantas tendem a desenvolver características específicas, o que torna a pastagem mais heterogênea (Murphy, *et al.*, 2021a e b).

De acordo com a revisão publicada por Murphy *et al.* (2021a), sobre as tecnologias de AP utilizadas para otimizar a gestão das pastagens, é possível verificar que a aplicação de técnicas de AP neste contexto de produção tem sido mais evidente em países cujo setor primário se foca principalmente na produção animal, como por exemplo a Nova Zelândia, os EUA, a Austrália ou a Irlanda, não existindo referência a estudos realizados na Península Ibérica.

5.3.1. Relação entre a altura da pastagem (H) e a produtividade (MS)

A análise de regressão linear entre a altura (H) e a produtividade da pastagem (MS) (Figura 24) foi significativa em todas as datas de amostragem, apresentando coeficientes de determinação moderados nas fases iniciais ($R^2= 0,50$ em dezembro, e $R^2= 0,56$ em fevereiro; Figura 24 (a) e (b), respetivamente), e valores relativamente baixos na fase mais adiantada do ciclo ($R^2= 0,38$ em maio). Estes valores estão abaixo dos obtidos em idêntica análise realizada por Cauduro *et al.* (2006) ($R^2=$

0,66), ainda que tenham sido obtidos numa situação completamente diferente da do presente estudo.

Em Portugal, é relativamente baixa a incorporação tecnológica no setor da produção animal extensiva e, em particular, no apoio à monitorização das pastagens. Assim, os agricultores baseiam-se no conhecimento empírico, na sua experiência prática de campo para apoio à tomada de decisão, por vezes auxiliadas pela utilização de equipamentos básicos (como a régua graduada), limitando a sua representatividade (Serrano *et al.*, 2024). Ainda assim, este método pode ter resultados positivos, quando realizado com algum rigor, ajudando o agricultor a tomar decisões mais conscientes, na ausência de outra metodologia para estimar a produtividade.

5.3.2. Relação entre a altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) e a produtividade (MS)

Neste estudo, os melhores resultados foram obtidos na correlação entre a altura comprimida (H_{RPM}) da pastagem e a produtividade (MS), com valores de R^2 de 0,50 (dezembro), 0,76 (fevereiro) e 0,50 (maio; Figura 25 a, b e c respetivamente). Estes valores enquadram-se razoavelmente no intervalo de valores do coeficiente de determinação obtidos por Ferraro *et al.* (2012) num estudo dedicado à variação sazonal da calibração do “RPM” ao longo de três anos (R^2 entre 0,59 e 0,87), embora tenha sido realizado em outras condições de solo e de clima, uma vez que na região Mediterrânica, em pastagens de sequeiro, não existem publicados estudos desenvolvidos com o “RPM”, pelo que não é possível colocar os resultados obtidos em perspetiva (Serrano *et al.*, 2024).

A Figura 30, correspondente aos dados da fase de calibração, mostra a evolução da produtividade da pastagem (MS) e das medições realizadas pelo sensor “RPM” (H_{RPM}), durante o período de amostragem. Numa fase inicial (entre a primeira e a segunda medição), verificou-se um aumento de ambos os valores (MS e H_{RPM}). No entanto, a H_{RPM} atingiu o valor mais elevado na segunda medição (103,1 mm), tendo diminuído na terceira medição (maio: 77,8 mm). Por outro lado, os valores da MS continuaram a aumentar até à terceira medição, atingindo aí o seu valor máximo (2353 kg ha⁻¹), o que origina a perda de qualidade da estimativa da produtividade na fase final do ciclo vegetativo.

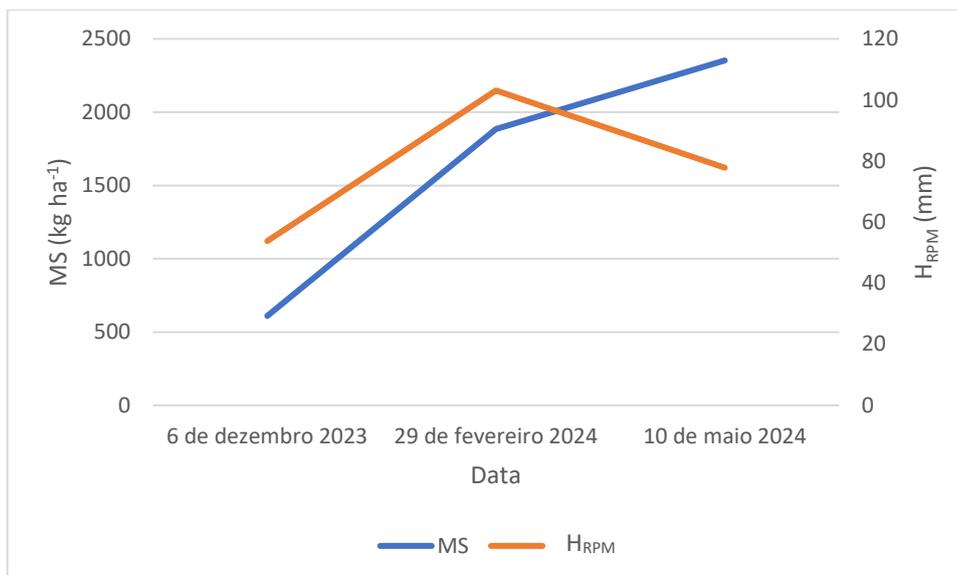


Figura 30: Variação da produtividade e da altura comprimida (H_{RPM}) da pastagem nas três datas de avaliação.

Este claro efeito sazonal justifica a necessidade de realizar calibrações ao longo do ciclo vegetativo, tendo em conta as características do local a ser estudado (Ferraro *et al.*, 2012). Contudo, na tentativa de abranger o maior período possível no ciclo de desenvolvimento da pastagem, procuraram-se também testar modelos de estimativa que associassem valores das várias datas de monitorização, tendo obtido os melhores resultados associando dezembro e fevereiro ($R^2 = 0,75$; Figura 27; Equação 3). Agregar estes valores e representar duas estações diferentes do ano, sem apresentar quebra significativa no rigor da estimativa, torna mais fácil a aplicação destes estudos na prática, em contexto empresarial no apoio ao decisor agrícola, conseguindo assim uma equação linear que tem uma relação para o período de outono e inverno.

$$MS \left(\frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \right) = 16,211 \times H_{RPM} - 24.273 \quad (3)$$

Sendo MS a produtividade da pastagem em kg ha^{-1} e H_{RPM} a altura comprimida da pastagem medida pelo “RPM” (em mm).

Num trabalho de revisão realizado por Santos *et al.* (2021) são apresentados valores de R^2 que variam entre 0,52-0,65 para o inverno, ligeiramente superior ao obtido no presente estudo para o mês de dezembro (correspondente ao outono), entre 0,68-0,73 para o inverno, sendo valores ligeiramente inferiores aos obtidos no presente estudo para o mês de fevereiro (inverno), e de 0,49-0,73 para a primavera, intervalo onde se pode enquadrar o valor obtido neste estudo no mês de maio (primavera).

Num outro estudo realizado por Gargiulo *et al.* (2020), na Austrália ocorreu a monitorização de uma pastagem de azevém com o sensor “RPM”, num período de outubro a dezembro (correspondente à primavera e início de verão). Foi avaliado o recrescimento da pastagem de azevém em dois parques após o corte, em dois parques experimentais, obtendo valores para o R^2 entre 0,83 e 0,82, superiores aos obtidos no presente estudo, ainda assim o declive das retas de calibração “a” foram de 14,96 e 18,95, intervalo onde se enquadra o melhor resultado obtido neste estudo (16,21; Equação 3).

Outra informação relevante na interpretação dos resultados está relacionada com o erro médio da estimativa (RMSE), o qual deverá ser o menor possível. Neste estudo, o erro apresentou uma tendência crescente (214 kg ha⁻¹ em dezembro, 380 kg ha⁻¹ em fevereiro e 773 kg ha⁻¹ em maio), com valores relativamente elevados na fase final do ciclo vegetativo, quando a pastagem apresenta uma quebra significativa da humidade, aspeto que poderá ser relevante na precisão do sensor “RPM”. O RMSE para o modelo de previsão que agregou as datas de dezembro e fevereiro (432 kg ha⁻¹, superior ao erro obtido em dezembro ou em fevereiro), mostrou que será vantajoso manter os modelos de estimativa para cada fase do ciclo vegetativo.

Gargiulo *et al.* (2020), de acordo com as equações padrão, diárias mensais e anuais, obtiveram valores de RMSE para o “RPM” que variou entre 66-116 kg ha⁻¹, valores claramente inferiores aos obtidos no presente estudo. No entanto, a mesma publicação faz referência a um outro estudo (Thomson *et al.*, 1997), onde os valores de RMSE variaram entre 350-450 kg MS ha⁻¹, os quais se enquadram nos valores de erro obtidos neste estudo. Foi também referido que deveriam ser realizadas 50 a 80 leituras do sensor por parque de pastagem, não sendo mencionada a área respetiva. Murphy *et al.* (2021b) realizaram um trabalho na Irlanda, sobre a avaliação da precisão do sensor “RPM” na medição da altura comprimida da pastagem, tendo sugerido entre 24 e 40 leituras como o número ideal de medições do sensor por ha, o que está em sintonia com o procedimento implementado neste estudo (36 medições por ha).

Em resumo, a análise dos valores obtidos pelo “RPM” noutros estudos (Ferraro *et al.*, 2012; Gargiulo *et al.*, 2020; Murphy *et al.*, 2021b), mostra indicações de R^2 acima de 0,7, independentemente da espécie forrageira, o que perspetiva o elevado potencial deste sensor para estimativa da produtividade da pastagem.

5.3.3. Relação entre as medições da sonda “Grassmaster II” (CMR) e a produtividade (MS)

Neste estudo foi avaliada a correlação da leitura realizada pela sonda “GMII” (CMR) com os valores de produtividade da pastagem em termos de matéria seca (MS) (Figura 26), verificando-se valores de R^2 inferiores aos obtidos com o sensor “RPM”, embora com um padrão semelhante: 0,39 em dezembro, 0,60 em fevereiro e 0,23 em maio.

A Figura 31 corresponde aos valores médios das medições da MS e da CMR (medida pela sonda “GMII”) para as três datas de avaliação (dezembro, fevereiro e maio). O padrão desta figura é idêntico ao apresentado na Figura 30: valor máximo de CMR na segunda data (fevereiro: 5764), seguido de diminuição acentuada no mês de maio (5326). A MS, como referido a propósito da Figura 28, apresentou uma tendência de progressivo aumento. Esta diferença de comportamento entre a medição da MS e a estimativa medida pela sonda (CMR) ajuda a justificar o facto do coeficiente de regressão diminuir em maio.

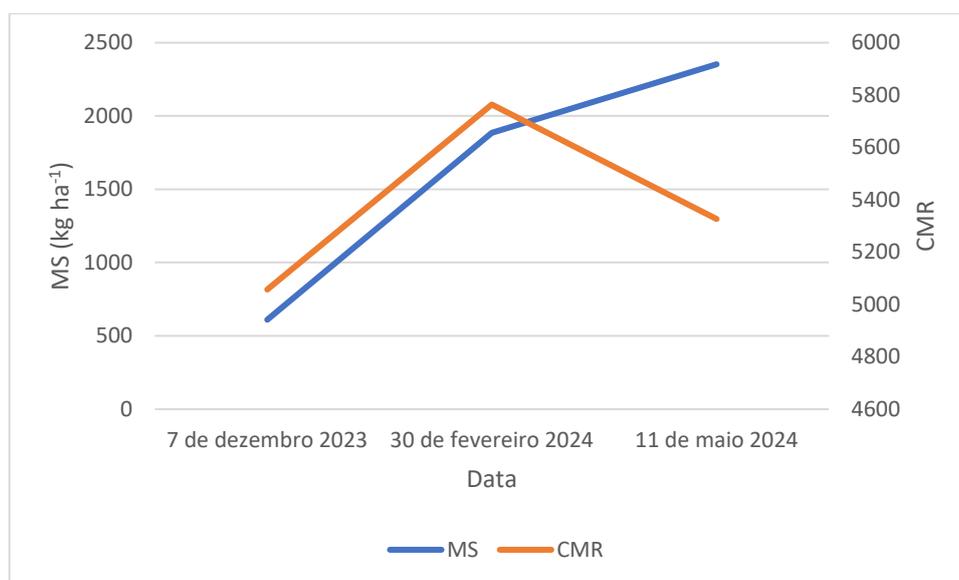


Figura 31:Variação da produtividade (MS) e das medições da sonda (CMR) nas três datas de medição.

A Equação 4, referente à monitorização realizada em fevereiro foi aquela que traduziu a melhor aproximação entre os valores estimados e os valores reais.

$$MS \left(\frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \right) = 0,562 \times \text{CMR} - 1353,5 \quad (4)$$

Sendo MS a produtividade da pastagem em kg ha⁻¹ e CMR as leituras da sonda “GMII”.

O enquadramento dos resultados obtidos com a sonda “GMII” neste trabalho, com outros na mesma região Mediterrânea, deve ser usado como referência o estudo de Serrano *et al.* (2019a), uma vez que contempla um conjunto de mais de 1200 amostras recolhidas entre os anos de 2007 e 2018 em diferentes zonas, especialmente do Sul de Portugal. Os valores de R^2 indicados nesse estudo (0,36 para dezembro, 0,84 para fevereiro e 0,56 para maio) apresentam um padrão idêntico ao que se revelou no presente trabalho. Em ambos a equação com maior R^2 para estimar a MS foi obtida em fevereiro, apresentando coeficientes para a reta de regressão muito semelhantes: “a” foi de “-1262,3” e “-1353,5”, respetivamente no estudo de Serrano *et al.* (2019a) e no presente estudo, enquanto “b” foi, respetivamente, de “0,5242” e “0,562”. Esta consistência de resultados é um aspeto importante na perspetiva de aplicação em futuros trabalhos e na extensão e demonstração aos agricultores e potenciais utilizadores destas tecnologias.

Relativamente ao erro (RMSE), verificou-se, em termos absolutos, maior erro na utilização desta sonda do que na utilização do “RPM”, apresentando ambos uma tendência semelhante: aumento do erro à medida que o ciclo vegetativo avança. No caso da “GMII”, o RMSE foi de 238 kg ha⁻¹ em dezembro, 489 kg ha⁻¹ em fevereiro e 963 kg ha⁻¹ em maio. Esta evolução mostra que à medida que a percentagem de água na planta diminui, menor é a precisão do sensor, tendo ainda maior relevância na “GMII” do que no “RPM”. Também ao nível do RMSE os valores obtidos são semelhantes aos verificados por Serrano *et al.* (2019a), tendo estes referido o valor mínimo de RMSE (297 kg ha⁻¹) nas estimativas de fevereiro.

5.3.4. Fase de validação

Na fase de validação foram estabelecidas as mesmas relações entre variáveis consideradas na fase de calibração. Foi obtido um $R^2= 0,72$ (Figura 29b) na estimativa da produtividade (MS) a partir da medição da altura comprimida (H_{RPM}) agregando os dados de todos os campos experimentais (M_p , M_f e L_p). Na avaliação correspondente, baseada na medição da sonda “GMII” (CMR) o valor de R^2 foi claramente inferior (0,51) (Figura 27c).

Ao realizar a análise separada dos campos de validação percebe-se que a maior precisão (menores valores de RMSE) foram registados nos testes de campo realizados na parcela “ M_p ” – mistura para pastoreio (a mesma parcela onde se desenvolveu a fase de calibração, com RMSE de 735,4 kg ha⁻¹ para a “GMII” e 512,3 kg ha⁻¹ para o “RPM”). Verificou-se uma importante quebra da precisão nos testes de campo realizados na “ M_f ” – mistura para forragem (833,4 kg ha⁻¹ com a “GMII” e 867,6 kg ha⁻¹ para o “RPM”) e uma quebra ainda mais significativa nos testes realizados

no campo de leguminosas para pastoreio “L_p” (1199,6 kg ha⁻¹ para a “GMII” e 1684,3 kg ha⁻¹ para o “RPM”).

A validação através de medições na pastagem onde foi realizada a fase de calibração, em termos de “RPM”, enquadra-se nos valores de RMSE apresentados por Murphy *et al.* (2021a), entre 441 e 552 kg ha⁻¹. Estes autores referem a variabilidade espacial (heterogeneidade da pastagem e composição de espécies) como a principal causa de erro de estimativa e, por isso, a validação com espécies botânicas diferentes tende a registar correlações mais fracas. Por exemplo, as leguminosas possuem um porte prostrado, com caules entrelaçados entre si, o que faz com que exista uma interferência nas medições do sensor e dificuldade na delimitação da área de corte, sendo difícil identificar as que se encontram dentro ou fora do aro de corte (Serrano *et al.*, 2024).

Outra limitação pode atribuir-se ao princípio de funcionamento dos próprios sensores (Serrano *et al.*, 2024). No caso do sensor “RPM”, a amplitude do prato que corre sobre uma haste graduada encontra-se limitado a 250 mm, pelo que pastagens altas poderão apresentar erros importantes (Murphy *et al.*, 2021a). No caso da sonda “GMII”, a zona de maior sensibilidade abrange um hipotético cilindro com 100 mm de diâmetro e 400 mm altura, pelo que também neste caso pastagens altas ou forragens com mais de 400 mm de altura terão associado maior erro de estimativa (Serrano *et al.*, 2024). Qualquer destas dificuldades tende a agravar-se à medida que a pastagem cresce, o que também pode ajudar a justificar estimativas mais fracas nessas fases adiantadas do ciclo de desenvolvimento da pastagem e, particularmente, na parcela de mistura para corte pelo facto de não ser pastoreada (Serrano *et al.*, 2024).

A humidade externa (nas plantas ou no solo) é outra limitação da sonda “GMII”. Em situações de existência de orvalho, a sonda mede valores demasiado elevados, o que exige que o operador realize sucessivas calibrações à humidade do ar. Os valores extremamente elevados medidos pela sonda em condições de humidades exterior (“outliers”), se não forem excluídos numa filtragem prévia dos dados podem contribuir para menor robustez nas estimativas (Serrano *et al.*, 2016a).

Na literatura podem encontrar-se algumas sugestões práticas para melhorar a calibração e validação de sensores, especialmente associando a deteção remota (por exemplo por satélite) à deteção próxima, reduzindo a necessidade de deslocações ao campo e a mão-de-obra. Gargiulo *et al.* (2020), por exemplo, sugeriu associar o NDVI medido a partir de imagens de satélite às medições realizadas pelo “RPM”, tendo conseguido melhorias de rigor nas estimativas (R² de 0,61 para 0,72 e RMSE de 566-1307 kg ha⁻¹ para 255 kg ha⁻¹).

Estas opções permitem encontrar soluções mais económicas e que vão ao encontro do que é pretendido numa exploração agrícola, sendo que o agricultor necessita de opções fiáveis e práticas. Com a utilização das ferramentas certas, o agricultor consegue realizar uma estimativa da produtividade da pastagem disponível para os animais, tendo assim ferramentas que o auxiliam numa melhor tomada de decisão, podendo resultar em menores custos de produção.

6. Conclusões

A agricultura desempenha um conjunto de papéis e encontra-se agregada a responsabilidades perante a sociedade. Produzir alimentos de forma sustentável, com o menor impacto ambiental possível é uma exigência dos consumidores. Uma forma de tornar a agricultura uma atividade sustentável sem perder rentabilidade consiste em utilizar criteriosamente os recursos necessários, atuando com precisão. É neste contexto que se enquadram as tecnologias de monitorização, as quais fornecem ao agricultor dados que o podem ajudar na tomada de decisão, com o objetivo de otimizar o processo produtivo.

Na pecuária extensiva, nomeadamente na produção de ruminantes, as tecnologias de AP têm tido um impacto muito pouco relevante, comparativamente ao que tem acontecido noutras atividades agrícolas, nomeadamente na produção de cereais. Assim, o desenvolvimento de tecnologias que permitem avaliar a produtividade das pastagens, analisando também a respetiva variabilidade espacial, contribuirá, por exemplo, para uma melhor gestão da suplementação dos animais, aspeto chave para obter melhores resultados económicos, reduzindo o impacto ambiental da atividade.

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar e calibrar dois sensores para estimativa da produtividade da pastagem (matéria seca em kg ha^{-1}), um baseado num princípio mecânico (prato ascendente, “RPM”) e outro baseado num princípio elétrico (sonda “*Grassmaster II*”). Os resultados obtidos mostram a potencialidade destes sensores para realizarem a estimativa da produtividade da pastagem, particularmente o “RPM”. A equação “ $\text{MS} = 16,211 \times \text{H}_{\text{RPM}} - 24,273$ ” ($R^2 = 0,75$; $\text{RMSE} = 432 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtida para uma pastagem de sequeiro, mistura de espécies, para o período de outono e inverno (dezembro de 2023 a fevereiro de 2024). A sonda “GMII” mostrou pior desempenho, sendo a melhor estimativa “ $\text{MS} = 0,562 \times \text{CMR} - 1353,5$ ” ($R^2=0,60$; $\text{RMSE}= 489 \text{ kg ha}^{-1}$), baseada em medições realizadas numa janela temporal mais restrita, no Inverno (em fevereiro). Estes sensores permitiram avaliar também a variabilidade espacial existente na pastagem em estudo, pelo que os resultados dos coeficientes de variação (CV) para o “RPM” estiveram entre 42-53% e para a sonda “GMII” entre 19-29% o que dá uma ideia da variabilidade existente dentro da parcela, aspeto reconhecidamente determinante no desempenho dos sensores.

Os resultados obtidos na fase de validação confirmam a capacidade dos sensores para realizarem leituras com significado na pastagem em análise, particularmente o “RPM” ($\text{RMSE}= 512,3 \text{ kg ha}^{-1}$), apresentando a sonda “GMII” menor robustez na estimativa ($\text{RMSE}= 735,4 \text{ kg ha}^{-1}$).

Este trabalho exploratório fornece um avanço no que diz respeito à utilização do prato medidor ascendente (“RPM”) em pastagens de clima Mediterrâneo, onde não existem registos publicados sobre a sua utilização. O potencial desta ferramenta expedita na estimativa da

produtividade da pastagem, com uma precisão aceitável, pode constituir o ponto de partida para uma abordagem diferente dos agricultores, permitindo alavancarem e realizarem uma melhor gestão da pastagem nas suas explorações, conduzindo a uma melhor utilização dos recursos e garantindo maior sustentabilidade.

No entanto, a quebra da qualidade da estimativa da produtividade com ambos os sensores (“RPM” e “GMII”) no período final do período vegetativo (Primavera) releva a importância de testar sensores alternativos que possam dar resposta neste período crítico da tomada de decisão do gestor, para sustentar a sua tomada de decisão em termos de suplementação alimentar dos animais quando a qualidade e produtividade da pastagem tende a diminuir drasticamente. Futuros estudos poderão passar por envolver informação obtida por deteção remota (imagens de satélite, por exemplo), complementada e validada através de sensores próximos, como o “RPM”, para efeitos de estimativa da produtividade, ou sensores óticos, para estimativa da qualidade da pastagem.

7. Referências Bibliográficas

Adar, S., Sternberg, M., Argaman, E., Henkin, Z., Dovrat, G., Zaady, E., & Paz-Kagan, T. (2023). Testing a novel pasture quality index using remote sensing tools in semiarid and Mediterranean grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 357, 108674.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108674>

Bretas, I. L., Valente, D. S. M., De Oliveira, T. F., Montagner, D. B., Euclides, V. P. B., & Chizzotti, F. H. M. (2023). Canopy height and biomass prediction in Mombaça guinea grass pastures using satellite imagery and machine learning. *Precision Agriculture*, 24(4), 1638–1662.

<https://doi.org/10.1007/s11119-023-10013-z>

Campana, M., Valle, T. A. D., Fernandes, L. S., Pereira, F. R. D. S., Garcia, T. M., Osório, J. A. C., Facco, F. B., & Morais, J. P. G. D. (2023). Canopeo and GreenSeeker applications as tools to support tropical pasture management. *Ciência Rural*, 53(6), e20220167.

<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220167>

Cauduro, G. F., Carvalho, P. C. D. F., Barbosa, C. M. P., Lunardi, R., Pilau, A., Freitas, F. K. D., & Silva, J. L. S. D. (2006). Comparação de métodos de medida indireta de massa de forragem em pasto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.). *Ciência Rural*, 36(5), 1617–1623.

<https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500044>

Climate Data. (2 de outubro 2024). Dados climatológicos para Évora.

<https://pt.climate-data.org/europa/portugal/evora/evora-135/>

Efe Serrano, J. *Pastures in Alentejo: Technical Basis for Characterization, Grazing and Improvement*; Universidade de Évora—ICAM, Ed.; Gráfica Eborense: Évora, Portugal, 2006; pp. 165–178.

Fernández-Habas, J., García Moreno, A. M., Hidalgo-Fernández, M. T., Leal-Murillo, J. R., Abellanas Oar, B., Gómez-Giráldez, P. J., González-Dugo, M. P., & Fernández-Rebollo, P. (2021). Investigating the potential of Sentinel-2 configuration to predict the quality of Mediterranean permanent grasslands in open woodlands. *Science of The Total Environment*, 791, 148101.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148101>

Ferraro, F. P., Nave, R. L. G., Sulc, R. M., & Barker, D. J. (2012). Seasonal Variation in the Rising Plate Meter Calibration for Forage Mass. *Agronomy Journal*, 104(1), 1–6.

<https://doi.org/10.2134/agronj2011.0190>

- Ferreira, D. B. (2012). Evolução da paisagem de montado no Alentejo interior ao longo do século XX: Dinâmica e incidências ambientais. *Finisterra* 2001, 36, 179–193
<https://doi.org/10.18055/FINIS1633>
- Freixial, R., & Barros, J. (2012). *Pastagens*. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia, Évora, 3-12.
<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/5107/1/Sebenta%20Pastagens.pdf>
- Gargiulo, J., Clark, C., Lyons, N., De 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.
<https://doi.org/10.3390/rs12193222>
- Gargiulo, J. I., Lyons, N. A., Masia, F., Beale, P., Insua, J. R., Correa-Luna, M., & Garcia, S. C. (2023). Comparison of Ground-Based, Unmanned Aerial Vehicles and Satellite Remote Sensing Technologies for Monitoring Pasture Biomass on Dairy Farms. *Remote Sensing*, 15(11), 2752.
<https://doi.org/10.3390/rs15112752>
- Huyghe, C., De Vlieghe, A., Van Gils, B., & Peeters, A. (2014). *Grasslands and Herbivore Production in Europe and Effects of Common Policies*. Éditions Quae, 54-56.
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2157-8>
- Jenquip. (4 de setembro de 2024). Plate Meteres, EC20
<https://www.jenquip.nz/product-page/ec20-bluetooth-electronic-platemeter>
- Murphy, D. J., Murphy, M. D., O'Brien, B., & O'Donovan, M. (2021a). A Review of Precision Technologies for Optimising Pasture Measurement on Irish Grassland. *Agriculture*, 11(7), 600.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11070600>
- Murphy, D. J., O'Brien, B., Hennessy, D., Hurley, M., & Murphy, M. D. (2021b). Evaluation of the precision of the rising plate meter for measuring compressed sward height on heterogeneous grassland swards. *Precision Agriculture*, 22(3), 922–946.
<https://doi.org/10.1007/s11119-020-09765-9>

- Murphy, D. J., Shine, P., Brien, B. O., Donovan, M. O., & Murphy, M. D. (2021c). Utilising grassland management and climate data for more accurate prediction of herbage mass using the rising plate meter. *Precision Agriculture*, 22(4), 1189–1216.
- <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09778-4>
- Reinermann, S., Asam, S., & Kuenzer, C. (2020). Remote Sensing of Grassland Production and Management—A Review. *Remote Sensing*, 12(12), 1949.
- <https://doi.org/10.3390/rs12121949>
- Santos, A. P. D. S. D., Pires, A. J. V., Fries, D. D., Dias, D. L. S., Bonomo, P., Jardim, R. R., Seixas, A. A., Rossa, F., Santos, C. P. D. S. D., Cruz, N. T., & Paiva, L. S. (2021). Métodos de avaliação de pastagem: Uma breve revisão. *Research, Society and Development*, 10(16), e52101622864.
- <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.22864>
- Schellberg, J., Hill, M. J., Gerhards, R., Rothmund, M., & Braun, M. (2008). Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, 29(2–3), 59–71.
- <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>
- Serrano, J., Carreira, E., Fonseca, A., & Shahidian, S. (2019a). Avaliação da sonda Grassmaster II como ferramenta para estimativa da produtividade de pastagens de sequeiro no Alentejo. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(4), 781–880.
- <https://doi.org/10.19084/RCA18180>
- Serrano, J.; Carreira, E.; Shahidian, S.; de Carvalho, M.; Marques da Silva, J.; Paniagua, L.L.; Moral, F.; Pereira, A. (2023). Impact of deferred versus continuous sheep grazing on soil compaction in the Mediterranean Montado ecosystem. *AgriEngineering*, 5(2), 761–776.
- Serrano, J., Franco, J., Shahidian, S., & Moral, F. J. (2024). Estimation of Dry Matter Yield in Mediterranean Pastures: Comparative Study between Rising Plate Meter and Grassmaster II Probe. *Agriculture*, 14(10), 1737.
- <https://doi.org/10.3390/agriculture14101737>
- Serrano, J. M., Barreto, S., Shahidian, S., & Marques Da Silva, J. (2019b). Avaliação do sensor óptico de vegetação OptRx® na monitorização da variabilidade espacial e temporal de pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(2), 261–280.

<https://doi.org/10.19084/RCA15101>

Serrano, J. M., Peça, J. O., Marques Da Silva, J., & Shahidian, S. (2011). Calibration of a capacitance probe for measurement and mapping of dry matter yield in Mediterranean pastures. *Precision Agriculture*, 12(6), 860–875.

<https://doi.org/10.1007/s11119-011-9227-4>

Serrano, J. M., Shahidian, S., & Marques Da Silva, J. R. (2016a). Monitoring pasture variability: Optical OptRx® crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), 117.

<https://doi.org/10.1007/s10661-016-5126-5>

Serrano, J., Shahidian, S., Marques Da Silva, J., Carreira, E., & Carvalho, M. (2019c). Tecnologias para monitorização da interação entre solo – pastagem – árvores – animais no ecossistema montado. Livro de Comunicações do "Congreso Ibérico de Agroingeniería", 1061–1070.

https://doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3332

Serrano, J.; Shahidian, S. & Silva, J.M. (2016b) – 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. D., Machado, E., & Carvalho, M. D. (2019d). Avaliação do efeito das árvores sobre a produtividade e sobre a qualidade da pastagem no ecossistema montado: Estudo de caso. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(1), 72-81.

<https://doi.org/10.19084/RCA17200>

Thomson, N. A., Mccallum, D. A., Howse, S., Holmes, C. W., Matthews, P. N. P., & Matthew, C. (1997). Estimation of dairy pastures—The need for standardisation. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 221–225.

<https://doi.org/10.33584/jnzg.1997.59.2245>

Zanine, A. de M., Santos, E. M., & de Jesus, D. (2006). Principales métodos de evaluación de pasturas—Methods main of evaluation of pastures—Principais métodos de avaliação de pastagens. *Rev. Electrónica de Vet. REDVET* 2006, VII, 1–13.

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111106/110634.pdf>

