

Agricultura de Precisão em Pastagens

**Avaliação quantitativa e qualitativa da variabilidade espacial de uma pastagem
melhorada de sequeiro no Alentejo**

Afonso Cavaleiro de Ferreira Bulhão Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Professor Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga

Co-orientador: Professora Doutora Maria Odete Pereira Torres

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Jorge Cravo Aguiar Pinto, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Cristina Maria Moniz Simões de Oliveira, Professora Associada com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Professor Auxiliar da Universidade de Évora

Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Agradecimentos

Esta dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica teve o contributo de várias pessoas, as quais me sinto na obrigação de referir e agradecer:

Aos Professores orientadores Ricardo Braga e Maria Odete Torres pela proposta do tema bem como por toda a ajuda ao longo do trabalho, tanto no seu delineamento como na sua elaboração e conclusão.

À Sociedade Agrícola da Herdade do Pigeiro por ter disponibilizado a parcela, a partir da qual foram realizados todos os ensaios de campo.

Ao Instituto Superior de Agronomia e à secção de Zootecnia que disponibilizaram o Laboratório Pais de Azevedo onde todo o material vegetal recolhido foi analisado. De referir, a importantíssima ajuda da Eng^a. Cátia Falcão Martins e da Sra. D. Lurdes Marques na realização do trabalho laboratorial.

Ao laboratório de Química Agrícola da Escola Superior Agrária de Elvas, na pessoa da Doutora Carla Barreto da Silva, que aceitou realizar as análises de terra necessárias ao desenvolvimento do trabalho, numa altura em que se encontravam sobrecarregados.

À empresa Fertiprado, na pessoa do técnico Manuel Rovisco, que me cedeu a composição em espécies das misturas instaladas na parcela.

À empresa Área400 pela realização do voo sobre a parcela, através do qual foi possível obter os dados relativos à reflectância da superfície.

À Estação de Melhoramento de Plantas de Elvas que cedeu os dados climáticos históricos e do ano agrícola 2013-2014 para a região.

Aos Professores Luísa Falcão e Cunha e Fernando Girão por, respectivamente, me terem auxiliado no cálculo do valor energético da pastagem e na descrição dos solos da parcela em estudo.

Aos meus amigos João Osório Ramos e Jorge Nazaré por me terem acompanhado na recolha do material vegetal e das amostras compósitas de solo.

Resumo

Este trabalho tem como objectivos principais a avaliação da variabilidade espacial de uma pastagem e a correlação das variáveis de campo estudadas com índices de vegetação (IV) obtidos por detecção remota.

Para tal, foi realizado um voo sobre a parcela em estudo que permitiu detectar a radiação emitida e reflectida por cada ponto da sua superfície. Partindo da leitura das imagens obtidas, seleccionaram-se 47 pontos para os quais se calcularam os diferentes IV. Esses locais foram também georreferenciados e alvo de recolhas de material vegetal e de solo - que constituem os dados-base das variáveis de campo analisadas. Após o seu tratamento estatístico, foi possível confirmar a grande variabilidade espacial existente numa pastagem no Alentejo - das 19 variáveis tratadas, 12 apresentaram um CV > 30%.

Na correlação entre variáveis e índices, os resultados não foram muito significativos. Contudo, a partir de oito IV, obteve-se um modelo capaz de estimar a produtividade da pastagem (r^2 ajustado = 0,48).

Este trabalho vem, assim, reforçar a importância que o desenvolvimento da agricultura de precisão e das suas técnicas pode ter na interpretação da variabilidade de uma parcela e o contributo que isso poderá trazer no seu mais eficiente aproveitamento.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Detecção remota; Índices de vegetação; Pastagem mediterrânea; Pastagem melhorada; Variabilidade.

Abstract

The main goals of this essay are the analysis of the spatial variability of a pasture and the correlation of its field variables with vegetation indices obtained by remote sensing.

To achieve these goals, we conducted a flight over the field being studied to detect the reflectance emitted by each point of its surface. Based on the analysis of the images obtained, 47 sites were selected, for which we calculated different vegetation indices. These sites were also georeferenced and used for plant and soil sample collections - which constitute the database of the studied field variables. After a statistical treatment of these, it was possible to confirm the large spatial variability of a pasture in Alentejo - from 19 variables treated, 12 showed a CV > 30%.

In the correlation between indices and variables, the results were not as relevant as expected. However, from 8 vegetation indices, a model to estimate the pasture yield was obtained (adjusted $r^2 = 0,48$).

It was again shown the importance that precision agriculture and its techniques development can have on the interpretation of the variability of a field and the contribution it can bring to its most efficient use.

Keywords: Precision agriculture; Remote sensing; Vegetation indices; Mediterranean pasture; Improved pasture; Variability.

Extended Abstract

The main theme of this dissertation is "Precision Agriculture on pastures". Precision farming, due to its contribution to a more efficient use of resources which allows an increase on farms profitability and a reduction of the environmental impact, has been expanding. However, this expansion has been, for several reasons, mainly in vineyards and annual crops, such as cereals, and low in permanent pastures.

Extensive livestock production system based on grazing, during almost the whole year, has great expression in Portugal, especially in Alentejo. However, margins associated with this agricultural system are very tight. Any contribution that increases system efficiency, by reducing costs and/or increasing production, is a positive step. This study attempts to analyse the ability of precision agriculture and its techniques to be one of those contributions.

The essay has three main objectives:

- 1- To evaluate the spatial variability of a pasture in qualitative and quantitative terms;
- 2- To evaluate the relationship between different field variables, in relation to plant and soil components;
- 3- To assess the responsiveness of different vegetation indices, obtained through remote sensing, in modelling the yield and quality of a pasture.

To achieve these goals, first, we conducted a flight over the field being studied in order to detect the reflectance of each point of its surface. Based on the analysis of the images from NIR and Visible bands obtained, 47 sites were selected, for which we calculated the different vegetation indices. These sites were also georeferenced and used for plant and soil samples collections. The collected material was treated in laboratory and subject to some determinations in order to provide the values of the 19 field variables studied. Then, these data were subjected to a descriptive statistical analysis that confirmed the large existing spatial variability in a 100 ha pasture of Alentejo. Indeed, from 19 treated variables, 12 showed a CV > 30%. Variables related to pasture yield and distribution of botanic families and species showed the highest spatial variation unlike the ones linked to pasture quality. Soil parameters showed also considerable variability, namely the extractable phosphorus content (CV = 115%).

Concerning the correlation amongst field variables, which could helped, to some extent, to explain the detected variability, the results were less significant than expected, particularly regarding to relationships between soil and pasture production or quality. It might, however, confirm some interesting ideas such as the importance of grasses for dry matter production and of legumes for pasture energy (and protein) content, the effectiveness of sown biodiverse mixtures or a markedly negative effect of species from other families presence for the abundance of grasses and legumes.

Finally, the correlation between vegetation indices obtained by remote sensing and field variables was also less significant than expected, when compared with similar studies analyzed. Relations with soil parameters and pasture quality were very low. However, best results were obtained when identifying botanic families and species and, especially, in the estimation of total dry matter (pasture yield). Indeed, using 8 vegetation indices, it was possible to obtain a model that estimates the total dry matter with an adjusted $r^2 = 0,48$.

Although there is still some way to go, particularly by conducting more tests to validate this and to obtain more accurate models, this study showed again the importance that precision agriculture and remote sensing could have for the replacement of usual sampling methods and for the interpretation of the variability of a field, contributing thus to its more efficient use.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Extended Abstract	v
Índice de Figuras	ix
Índice de Quadros	x
Lista de Abreviaturas, Acrónimos e Siglas	xi
1 Introdução	1
1.1 Objectivos	2
2 Agricultura de Precisão	3
2.1 Conceito geral, seu aparecimento e seus objectivos	3
2.2 Tecnologias de base e dificuldades na sua difusão e implementação.....	4
2.3 Ciclo da agricultura de precisão e suas aplicações.....	9
3 Pastagens	11
3.1 Importância das pastagens em Portugal e no Mundo	11
3.2 Pastagens de sequeiro do Alentejo.....	13
3.3 O melhoramento de pastagens de sequeiro no Alentejo	17
4 A agricultura de precisão em pastagens melhoradas de sequeiro no Alentejo	21
5 Material e métodos	25
5.1 Caracterização da área em estudo	25
5.1.1 Descrição geral da exploração e da parcela.....	25
5.1.2 Itinerário cultural	26
5.1.3 Caracterização climática	28
5.1.4 Caracterização edáfica	30
5.2 Métodos de amostragem e de tratamento das amostras	32
5.2.1 Amostragem para avaliação da variabilidade espacial e metodologia de recolha de dados de campo ..	32
5.2.2 Métodos de caracterização laboratorial do material vegetal e do solo	34
5.3 Métodos de tratamento dos dados.....	35
5.3.1 Índices de vegetação	35
5.3.2 Tratamento estatístico	36
6 Resultados e discussão	37
6.1 Variáveis de campo.....	37
6.1.1 Estatística descritiva	37
6.1.2 Distribuição espacial da produtividade, teor de proteína bruta e valor energético da pastagem	40

6.2 Índices de vegetação	43
6.2.1 Cartas da parcela referentes à reflectância nas bandas do visível e do NIR.....	43
6.2.2 Estatística descritiva	43
6.2.2 Distribuição espacial	46
6.3 Correlação e modelação	48
6.3.1 Análises de correlação.....	48
6.3.2 Modelação estatística	59
7 Conclusões	61
8 Referências bibliográficas	63
9 Anexos	70
I. Dados climáticos	i
II. Gráfico com Diagramas Ombrotérmicos de Gaussen do ano agrícola 2013-2014 e da média dos últimos 30 anos para a região de Elvas	iii
III. Dados de campo (Produtividade e Proporção de famílias).....	iv
IV. Dados de campo (Matéria Seca, em gramas, das várias espécies de leguminosas encontradas)	v
V. Dados de campo (Variáveis relacionadas com espécies de leguminosas).....	vii
VI. Dados de campo (Variáveis relacionadas com a qualidade da pastagem)	viii
VII. Dados de campo (Variáveis relacionadas com o solo)	ix
VIII. Equações INRA (1997) para o cálculo das Energias Net de conservação e engorda da pastagem	x
IX. Valores dos índices de vegetação para cada local de amostragem	xi
X. Cartas de falsa-cor e dos índices de vegetação	xiii
XI. Análise de variância do modelo obtido	xvii
XII. Estimativa dos parâmetros do modelo obtido	xvii
XIII. Valores observados, predictos pelo modelo e seus resíduos	xviii

Índice de Figuras

Figura 1 - Representação das camadas de informação num SIG.....	5
Figura 2 - Carta de produtividade de uma cultura de milho.....	6
Figura 3 - Reflectividades típicas de solo, vegetação e água	7
Figura 4 - Esquema geral de um ciclo de agricultura de precisão.....	9
Figura 5 - Curvas de crescimento anual de uma pastagem de sequeiro mediterrâneo em quatro anos típicos ...	15
Figura 6 - Efeito do melhoramento de pastagens mediterrâneas por incremento de leguminosas.....	18
Figura 7 - Imagem da parcela em estudo.....	25
Figura 8 - Imagem da parcela com identificação da área em que foi utilizada a mistura Fertiprado AC500 e em que se utilizou a mistura Fertiprado AC600.....	27
Figura 9 - Diagrama ombrotérmico de Gaussen para Elvas (dados climáticos dos últimos 30 anos).....	29
Figura 10 - Diagrama ombrotérmico de Gaussen para Elvas (dados climáticos do ano agrícola 2013-2014).....	29
Figura 11 - Comparação da precipitação acumulada entre o ano agrícola 2013-2014 e a média dos últimos 30 anos.....	30
Figura 12 - Representação da parcela em estudo na Carta de Solos de Portugal nº 37C.....	31
Figura 13 - Carta da parcela que representa cada local de amostragem.....	33
Figura 14 - Cartas da Matéria Seca total, Proteína Bruta e Energia Net de engorda da parcela.....	42
Figura 15 - Cartas da parcela em estudo relativas à reflectância no infra vermelho próximo (NIR) e no visível...	43
Figura 16 - Cartas da parcela em estudo referentes aos índices de vegetação NDVI, NIRPER, I e NDRGI.....	47
Figura 17 - Rectas de regressão linear simples entre Matéria Seca total e Proporção de Gramíneas na MS total, Proporção de Outras na MS total, Proporção das três espécies mais abundantes no total de leguminosas e NDF.....	55
Figura 18 - Rectas de regressão linear simples entre Matéria Seca total e os índices DVI, NDVIg, NIRPER e NDVI.....	56
Figura 19 - Rectas de regressão linear simples entre Proteína Bruta e Proporção de Leguminosas na MS total, ADF e o índice NIRPER.....	57
Figura 20 - Rectas de regressão linear simples entre Energia Net de engorda e Proteína Bruta, ADF, Proporção de Leguminosas na MS total e o índice DVI.....	58
Figura 21 - Gráfico onde se representa a relação entre os valores observados e predictos pelo modelo nos vários locais de amostragem	59

Índice de Quadros

Quadro 1 - Importância, em 2011, de prados e pastagens permanentes em Portugal e no Mundo	11
Quadro 2 - Importância, em 2009, de prados e pastagens permanentes nas várias regiões de Portugal	13
Quadro 3 - Distribuição regional, em 2012, do efectivo reprodutor bovino, ovino e caprino mais vocacionado para carne	14
Quadro 4 - Itinerário cultural da pastagem da parcela	26
Quadro 5 - Composição das misturas Fertiprado AC500 e Fertiprado AC600.....	26
Quadro 6 - Estatística descritiva das variáveis de campo estudadas.....	41
Quadro 7 - Estatística descritiva dos índices de vegetação calculados para os vários locais de amostragem.....	45
Quadro 8 - Análise de correlação entre as variáveis de campo	50
Quadro 9 - Análise de correlação entre os índices de vegetação calculados	51
Quadro 10 - Análise de correlação entre as variáveis de campo e os índices de vegetação calculados	54
Quadro 11 - Melhor modelo ajustado obtido para a variável dependente Matéria Seca total com base em índices de vegetação obtidos a partir de dados de detecção remota	59

Lista de Abreviaturas, Acrónimos e Siglas

ADF	Acid Detergent Fiber
ADL	Acid Detergent Lignin
AP	Agricultura de Precisão
ARH	Administração da Região Hidrográfica
B	radiação emitida ou reflectida pela superfície no espectro do azul (Blue)
BPER	Blue Percentage
CN	Cabeças Normais
C/N	relação Carbono Azoto
CUD	Coeficiente de Utilização Digestiva
CV	Coeficiente de Variação
DR	Detecção Remota
DVI	Difference Vegetation Index
EN	Energia Net
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FB	Fibra Bruta
G	radiação emitida ou reflectida pela superfície no espectro do verde (Green)
GIS	Geographic Information System
GPER	Green Percentage
GPP	Gabinete de Planeamento e Políticas
GPS	Global Positioning System
I	Intensidade
IAF	Índice de Área Foliar
INE	Instituto Nacional de Estatística
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
IPVI	Infrared Percentage Vegetation Index
IV	Índices de Vegetação
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
NDF	Neutral Detergent Fiber
NDGBI	Normalized Difference Green Blue Index
NDRGI	Normalized Difference Red Green Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVIg	Normalized Difference Vegetation Index - Green
NIR	Near Infrared Radiation
NIRPER	Near Infrared Percentage

P ₂ O ₅	Pentaóxido de difósforo
PAC	Política Agrícola Comum
PB	Proteína Bruta
PCD	Plant Cell Density
PPR	Plant Pigment Ratio
PVR	Photosynthetic Vigour Ratio
R	radiação emitida ou reflectida pela superfície no espectro do vermelho (Red)
RB	Red Blue ratio
RPER	Red Percentage
SAU	Superfície Agrícola Utilizada
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SGB	Subtraction Green Blue
TS	<i>Trifolium subterraneum</i>
UF	Unidade Forrageira
VRT	Variable Rate Technology

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica pelo Instituto Superior de Agronomia tem como título "Agricultura de Precisão em Pastagens - Avaliação quantitativa e qualitativa da variabilidade espacial de uma pastagem melhorada de sequeiro no Alentejo". O tema foi-me proposto pelos Professores Doutores Maria Odete Torres e Ricardo Braga, orientadores da dissertação.

De facto, o tema não poderia ser mais oportuno. Para além de viver no Alentejo (Alandroal), a minha família, desde há várias gerações, está intimamente ligada à agricultura. Hoje e há mais de trinta anos, o meu pai gere uma empresa agrícola nesta região. Um dos principais sectores de actividade da empresa é a produção pecuária em regime extensivo.

As pastagens do Alentejo e, mesmo, as paisagens do Alentejo são, desde sempre, indissociáveis da pecuária que nela se encontra e pasta (Serrano *et al.*, 2014a). Nesta região, o pastoreio exerce-se em extensas áreas, praticamente durante todo o ano, sendo das pastagens que os animais quase exclusivamente se alimentam. A pecuária extensiva é, pois, um sector económico muito importante que contribui decisivamente para a manutenção do espaço e ambiente rurais desta região (Carmona Belo *et al.*, 2008).

Vivemos, contudo, numa altura de crise ou de marcada mudança acompanhada de uma cada vez maior globalização, às quais ainda não estamos totalmente adaptados. Todos os sectores têm sofrido e dentro deles apenas sobreviverão os melhores - quer pelas suas condições naturais quer pela sua capacidade de reagir à (necessidade de) mudança.

A pecuária extensiva característica do Alentejo nunca poderá competir nem em termos de preço nem em termos de carga animal com as pecuárias mais intensivas (nacionais e de outros países). Poderá, no entanto, afirmar-se por via da excelência dos produtos alimentares que os animais que se alimentam das suas pastagens originam bem como do próprio sistema de produção, já hoje bastante valorizados pelos consumidores (Crespo, 2011) e de alguma forma apoiados pela PAC através das medidas agro-ambientais (Moreira, 2002).

Para além disso, existem outros caminhos/técnicas que o agricultor poderá/terá de seguir de maneira a capitalizar essa excelência e a adaptar-se a este novo cenário. Todas as estratégias que passem por aumento de produtividade, de eficiência e/ou redução de custos de produção aqui se incluem. O melhoramento de pastagens é uma dessas técnicas na medida em que permite aumentar a produtividade e qualidade das pastagens, diminuindo a necessidade de utilização de suplementos (quer na forma de forragens quer na forma de concentrados) e possibilitando o aumento de carga animal. Outro dos caminhos, complementar, pode passar pela Agricultura de Precisão (AP).

O conceito de AP surgiu há cerca de trinta anos (Coelho, 2008). Este sistema, de aplicação ainda algo restrita entre nós, permite avaliar pormenorizadamente áreas de cultivo através da utilização de tecnologias como os sistemas GPS e SIG associados a métodos de análise espacial (Serrano *et al.*, 2007). Desta maneira, dependendo do grau de variabilidade espacial da parcela, é possível actuar diferenciadamente/consoante as

especificidades de cada local. Assim, ao aumentar a eficiência na utilização de recursos e ao ajudar a fundamentar as tomadas de decisão, a AP pode contribuir para a redução de custos de produção, para o aumento de produtividade e qualidade bem como para uma melhor conservação e melhoria ambiental (Coelho e Silva, 2009).

Analisando estas finalidades/consequências, rapidamente se percebe que, para atingir a sustentabilidade da agricultura bem como, ao mesmo tempo, assegurar níveis de produção que respondam ao crescimento da população mundial, o futuro agrícola deverá/terá de passar pela agricultura de precisão (Corwin e Lesh, 2005).

Da mesma maneira, para assegurar a sustentabilidade e rentabilidade futuras das pastagens do Alentejo e da sua actividade económica principal associada, a pecuária extensiva, o caminho a seguir tenderá a ser o mesmo.

Já foram realizados alguns estudos a nível mundial e também a nível nacional, sobretudo pela Universidade de Évora, acerca da aplicação de "Agricultura de Precisão em Pastagens".

Este meu trabalho pretende ser mais um contributo.

1.1 Objectivos

O objectivo principal desta dissertação é avaliar a aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pastagens.

Mais concretamente, este trabalho pretende:

- 1- Avaliar a variabilidade espacial de uma pastagem, em termos qualitativos e quantitativos;
- 2- Avaliar a relação entre as diversas variáveis estudadas, relacionadas tanto com a componente vegetal como com o solo;
- 3- Avaliar a capacidade de resposta de diversos índices de vegetação (IV), obtidos através de técnicas de detecção remota, em modelar a produtividade e qualidade de uma pastagem melhorada.

2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

2.1 Conceito geral, seu aparecimento e seus objectivos

O conceito de Agricultura de Precisão, em inglês *Precision Agriculture* ou *Precision Farming*, surgiu no fim do século XX, aparecendo como um novo sistema de cultura (Zhang *et al.*, 2002).

O conceito assenta num princípio muito simples, há muito reconhecido pelos agricultores: existência de variabilidade espacial e temporal, tanto ao nível de solos como de culturas, dentro de uma determinada área cultivada/parcela (Coelho, 2005). Assim que o desenvolvimento tecnológico, notável e rapidíssimo, dos últimos 50 anos, criou ferramentas que permitiram mensurar essa variabilidade e, na fase subsequente, gerir essa área de maneira diferenciada reuniram-se as condições necessárias e suficientes para o aparecimento deste novo sistema de cultura que é a agricultura de precisão (Coelho *et al.*, 2004).

Basicamente, a AP é "voltar atrás no tempo", para alturas em que não existiam máquinas e o trabalho era todo manual e, como tal, lento e em pequena escala (Morgan e Ess, 1997). Nessa época, pelas razões anteriores, era possível "tratar diferente o que era diferente" (Coelho *et al.*, 2004) - mondas localizadas, maiores doses de sementeira e de aplicação de adubo em certas zonas ou colheita fraccionada eram muito frequentes. A agricultura de precisão vem permitir, novamente, esta gestão diferenciada/local, em resposta à variabilidade presente, só que aplicada a grandes áreas e sem perder a eficiência e rendimento em trabalho característicos e possíveis desde a mecanização da agricultura.

Pode-se então dizer que existe apenas uma diferença entre "praticar" agricultura de precisão ou agricultura "convencional": no primeiro caso, a gestão de solo e cultura é feita consoante a variabilidade presente, gestão intra-parcelar, enquanto que em agricultura convencional, a gestão de solo e cultura é feita uniformemente para toda a parcela, através de valores médios (a parcela é considerada homogénea) (Aubert *et al.*, 2012).

No entanto, é apenas esta diferença na "interpretação" de uma parcela que permite justificar, explicar e chegar às duas grandes e importantes vantagens da AP (Zhang *et al.*, 2002):

- 1- Aumento do rendimento dos agricultores;
- 2- Redução do impacte ambiental resultante da actividade agrícola.

O aumento do rendimento dos agricultores é alcançado sobretudo pelo aumento de produtividade (e/ou qualidade). A agricultura de precisão, ao analisar a variabilidade e ao actuar de acordo com esta, conduz a um rigor, controlo e eficiência muito superiores na aplicação dos factores de produção, sejam eles, adubos, sementes, água de rega ou produtos fitofármacos. Isto na medida em que as aplicações são feitas na justa medida do necessário, para cada zona da parcela. Assim, por exemplo, zonas que precisam de maior quantidade de adubo, têm-lo-ão, enquanto locais de menor potencial (mas que podem ser contíguos aos anteriores), terão um menor fornecimento (Brase, 2005). É intuitivo que, desta maneira, se contribui para o aumento de produção (e, eventualmente, de qualidade da mesma) global da parcela, havendo uma aproximação

ao seu potencial produtivo. Por outro lado, é também através deste mesmo rigor e controlo nas aplicações, a juntar a técnicas que evitam a sobreposição nas passagens, que se reduz o impacto ambiental da actividade agrícola - uma das grandes razões que contribui para a expansão e desenvolvimento da AP. Ao serem evitadas aplicações em excesso, reduz-se a probabilidade de contaminação do meio ambiente.

Outra via onde a AP pode dar o seu contributo é na previsão da altura de colheita mais correcta o que, provavelmente, conduzirá a melhor qualidade e rendimento e por isso, a uma valorização do produto (Grave, 2013).

2.2 Tecnologias de base e dificuldades na sua difusão e implementação

Como mencionado anteriormente, o que tornou possível a concretização e conseqüente aplicabilidade do conceito de AP foi o rapidíssimo desenvolvimento tecnológico que se tem verificado desde há cerca de cinquenta anos. Com efeito, é necessário equipamento de alta tecnologia para medir, quantificar, avaliar e monitorizar a variabilidade numa dada parcela bem como para, numa fase posterior, se for o caso, aplicar os factores de produção em conformidade com essa mesma variabilidade (Coelho e Silva, 2009).

Os equipamentos tecnológicos mais utilizados em AP são (Seelan *et al.*, 2003; Braga e Pinto, 2011):

- GPS (Global Positioning System);
- GIS (Geographic Information System);
- Monitores de colheita;
- Equipamentos para aplicação de factores de produção a taxas variáveis (sistema VRT - Variable Rate Technology);
- Equipamentos/sensores de detecção remota.

O GPS é um sistema de posicionamento, já muitíssimo difundido, que permite determinar a localização de um objecto/receptor móvel no ar ou na superfície terrestre (Coelho e Silva, 2009). A sua importância para a AP é enorme, estando mesmo na base/cerne desta técnica, já que é este sistema que permite dar a conhecer a localização precisa dos locais de variabilidade de determinados parâmetros do solo e/ou da cultura que se pretende estudar (WVU, 2008).

Um GIS ou SIG (Sistema de Informação Geográfica) é um sistema que permite visualizar e relacionar diferentes camadas de dados que apresentem atributos georreferenciados comuns (Coelho e Silva, 2009), como mostra a Figura 1.

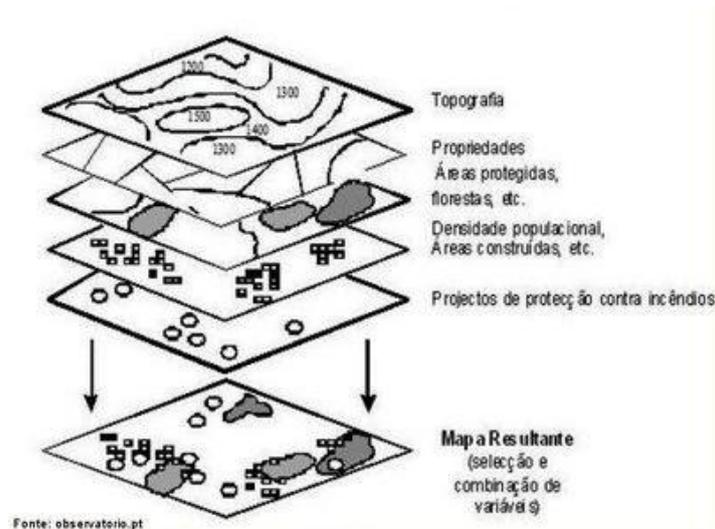


Figura 1 - Representação das camadas de informação num SIG
Adaptado de <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/>

Este sistema permite recolher, armazenar, tratar, analisar, relacionar e mesmo manipular dados de natureza espacial e respectiva informação a eles associada (Morgan e Ess, 1997; Coelho *et al.*, 2004; Brase, 2005). É através destas capacidades que estes sistemas permitem cartografar resultados, colocando essa informação sob a forma de cartas, que podem ser constantemente actualizadas (Coelho *et al.*, 2004). Estas são essenciais e a base para um bom planeamento e gestão agrícola a nível regional e mesmo da exploração - permitem gerir perímetros de rega, cartas de potencial agrícola, estudos e projectos de emparcelamento, entre outros. De maneira mais concreta, a sua utilização na AP é fundamental dado que a maior parte das técnicas subjacentes a este tipo de agricultura utilizam e necessitam desta informação georreferenciada.

De facto, é a integração dos SIG com o GPS que permite criar a estrutura complexa de dados e de informação georreferenciada subjacente à maior parte das técnicas de AP e fundamental no apoio aos processos de tomada de decisão por parte do agricultor (Coelho e Silva, 2009; Serrano *et al.*, 2014b).

Como será abordado em 2.3, a monitorização, para percepção da variabilidade, é quase sempre o ponto de partida de qualquer sistema de agricultura de precisão (Serrano e Peça, 2009). Assim o é porque, na grande maioria dos casos, é o melhor instrumento que existe para se constatar e identificar as zonas da tal variabilidade. Um monitor de rendimento/produktividade/colheita enquadra-se neste tipo de instrumentos já que é um equipamento que mede, em tempo real e *in situ*, a produtividade de uma cultura. Se conjugado com um GPS e, posteriormente, se tratado num SIG, permite cartografar os dados recolhidos e, assim, obter um carta de produtividade da parcela (Penteado, 2014) (Figura 2).

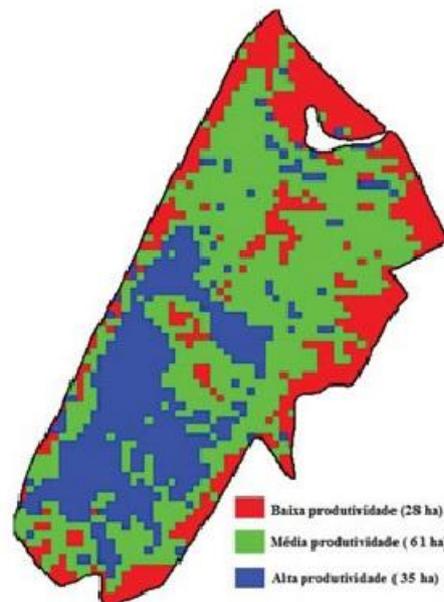


Figura 2 - Carta de produtividade de uma cultura de milho
 Adaptado de <http://www.edcentaurus.com.br/materias/granja.php?id=4387>

Posteriormente, dever-se-á analisar a carta e poder-se-á, a partir dela, constatar quais as zonas de maior produtividade bem como ser alertado para eventuais problemas nos locais de menor produção. Os problemas em causa podem ser variadíssimos - problemas fitossanitários localizados, locais de maior infestação, zonas de má drenagem, pH entre outros - mas, na grande maioria dos casos, poderão ser resolvidos/amenizados, permitindo ao agricultor melhorar a sua produção. Desta maneira, as cartas de produtividade podem ser uma importante ferramenta de "diagnóstico" e de apoio na medida em que contribuem para a redução da incerteza das decisões no controlo da variabilidade de condições existente nas parcelas/folhas (Schellberg *et al.*, 2008).

As aplicações diferenciadas de factores de produção, através de equipamentos munidos com o sistema VRT, têm exactamente como um dos pontos de partida estas cartas de produtividade ou, mais correctamente, a análise e respectivas conclusões retiradas delas (Brase, 2005). Esta técnica permite variar em tempo real, por intermédio de um GPS, a taxa de aplicação de insumos (sejam correctivos, estrume, sementes, adubos, produtos fitofármacos, água ou outros) consoante o local onde se encontra e consoante a informação disponível na carta proveniente de um software SIG (Coelho e Silva, 2009). Esta tecnologia "completa" o ciclo de agricultura de precisão já que utiliza e aplica a informação adquirida e "trabalhada" pelos sistemas anteriormente referidos (Serrano *et al.*, 2014a).

Apenas como nota, referir que também é possível fazer esta aplicação VRT com a utilização de sensores que avaliam as condições/algum parâmetro do solo ou cultura no preciso instante, em tempo real, e é segundo esses resultados que a quantidade de factor vai variando. Neste caso, menos frequente, a medição e aplicação são feitas em simultâneo sem recurso nem a GPS nem a SIG (Zhang *et al.*, 2002).

É novamente intuitivo que esta técnica VRT contribui, em larga escala, tanto para o aumento da eficiência de aplicação de factores de produção (Schellberg *et al.*, 2008) como para reduzir ao máximo o efeito da variabilidade espacial. Consegue-se assim uma aproximação maior ao potencial produtivo da parcela e, consequentemente, à margem bruta máxima (Penteado, 2014).

Por último, mas não menos importante, o desenvolvimento de técnicas de detecção remota e "seus" equipamentos foi/é/poderá vir a ser um dos maiores impulsionadores (ou desencorajadores) da expansão da AP. Detecção remota (DR) é o "processo de recolha de informação acerca do estado e condição de áreas e/ou objectos sobre ou próximos da superfície terrestre, por um sensor de radiação electromagnética colocado acima da mesma superfície terrestre" (Coelho *et al.*, 2004). Sucintamente, através de um sensor, é possível captar e registar a energia emitida e/ou reflectida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético. O potencial da técnica prende-se com o facto de diferentes objectos localizados sobre a superfície terrestre originarem respostas diferentes - as energias emitidas ou reflectidas nos diversos comprimentos de onda (ou bandas espectrais) por cada objecto são diferentes, ou seja, cada objecto apresenta uma assinatura espectral distinta, que pode ser mais ou menos característica e, por isso, identificativa (Brase, 2005). Por exemplo, vegetação, água ou solo têm assinaturas espectrais muito distintas que as permitem identificar imediatamente (Figura 3).

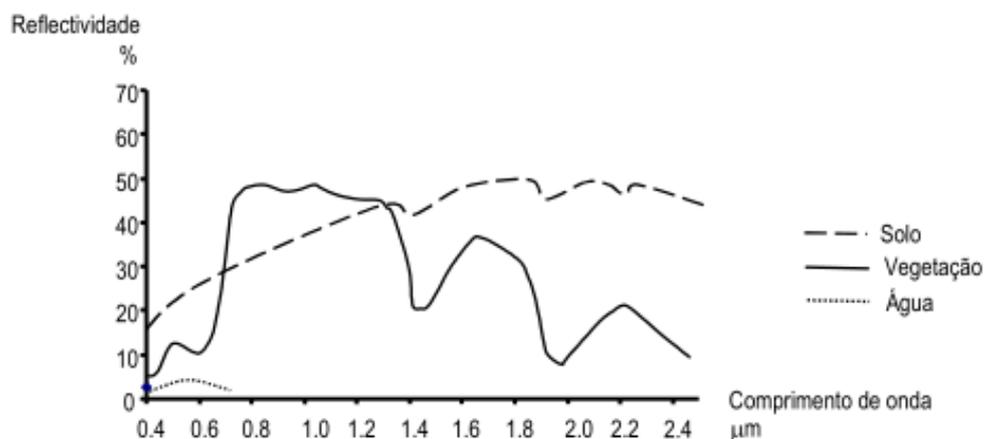


Figura 3 - Reflectividades típicas de solo, vegetação e água
Retirado de Coelho *et al.* (2004)

Assim, consoante as espécies presentes, densidade, altura, teor em água, % de matéria verde, estado vegetativo ou mesmo estado nutricional de uma cultura também podem haver resultados consideravelmente diferentes (Numata *et al.*, 2008). No que respeita aos solos, o mesmo se aplica; se algumas das suas características principais variarem, como o teor em matéria orgânica (MO), os resultados espectrais podem também variar (Zhang *et al.*, 2002). Se conseguirmos correlacionar esses resultados com estes parâmetros de interesse agronómico com alguma precisão e estabilidade, a DR poderá trazer grandes vantagens para a

agricultura. Nomeadamente, ao possibilitar a elaboração de cartas que mostrem a variabilidade dos determinados parâmetros/atributos de solo ou cultura ao longo da parcela - uma ferramenta de informação semelhante às cartas de colheita anteriormente referidas já que também estas poderão ser utilizadas como base para aplicações VRT.

Na grande maioria dos casos, os resultados espectrais não são apresentados em termos de radiação emitida pela superfície, tal como é medido pelo sensor. Normalmente, esses valores são transformados de maneira a imediatamente se correlacionarem da melhor maneira com os parâmetros de solo e/ou cultura, atrás referidos, que, de facto, têm interesse para o agricultor (Olexa e Lawrence, 2014). Os índices de vegetação são valores transformados - através da combinação e relação da radiação emitida e reflectida nas diversas bandas espectrais pela superfície - que tentam relacionar-se com características da vegetação/solo/meio (Jackson e Huete, 1991; Qi *et al.*, 1994). A existência e utilização de vários índices prende-se exactamente com o facto de cada índice ter sido/ser desenvolvido de maneira a melhor descrever determinada(s) característica(s) de interesse (Haboudane *et al.*, 2004). Por exemplo, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é o IV mais conhecido e utilizado, tenta descrever/relacionar-se, entre outros, com a quantidade de vegetação fotossinteticamente activa (Morgan e Ess, 1997).

Nos últimos anos, a capacidade dos sensores referidos sofreu uma melhoria considerável. Com efeito, para além do preço de aquisição das imagens ter baixado, também a qualidade das mesmas melhorou bastante sobretudo pelo aumento da resolução espacial e pela utilização de sensores multiespectrais (Fava *et al.*, 2009). Desta maneira, apareceu a possibilidade, já referida, de cartografar características das culturas e do solo em áreas consideráveis. Ao nível das culturas, como exemplos, já foram obtidas correlações promissoras na estimativa do stresse hídrico em cereais (Laliberte *et al.*, 2010) e na identificação de zonas com infestantes (Adamchuk *et al.*, 2004). Ao nível de solos também consideráveis resultados positivos, para vários parâmetros, têm sido obtidos (Adamchuk *et al.*, 2004). Este último aspecto reveste-se de uma importância especial já que, assim, os sensores utilizados em DR, ao permitirem a recolha de informação de grandes áreas e o acesso rápido a essas imagens, podem vir a substituir os ainda habituais métodos manuais, morosos, destrutivos e caros de amostragem e análise de solos (Serrano *et al.*, 2014a), que podem até comprometer a AP (Serrano *et al.*, 2009a). O benefício para o agricultor é obvio e ainda maior se pensarmos que as habituais análises fornecem valores médios da área amostrada enquanto que as imagens provenientes dos sensores irão mostrar a variação da característica em estudo "em contínuo" (tendo em conta a resolução espacial do sensor). Para além disto, as técnicas de DR permitem ainda uma maior frequência nas observações (Fu *et al.*, 2014).

Desta maneira, as técnicas de DR são o futuro para a eficiência da monitorização ambiental (Fava *et al.*, 2009), sobretudo no que respeita a captar variações espaciais (Xu *et al.*, 2013).

No entanto, nem tudo são vantagens. Toda a tecnologia abordada ao longo deste tópico é a responsável pela possível aplicação da AP mas também é o maior entrave no que toca à expansão do seu uso. Em primeiro lugar, o "começar do zero" em que é necessário fazer o levantamento da situação-base e construir um sistema de

informação de dados geograficamente referenciado é muito moroso, demorado e caro (Zhang *et al.*, 2002). O próprio custo dos equipamentos, a sua complexidade e necessidade de dispêndio de tempo por parte do agricultor e operador para os entender são outros pontos negativos para este tipo de agricultura (Coelho e Silva, 2009). Por vezes, tanto a baixa resolução espacial como o tempo de entrega dos dados continuam ainda a ser um problema (Olexa e Lawrence, 2014). A ligar a isto, o facto de, à partida, não se poder quantificar objectivamente qual o retorno que se irá obter com a sua utilização (Braga e Pinto, 2011).

No que respeita às técnicas de DR e apesar do que foi dito a seu favor, é ainda necessário alguma experimentação e calibração de maneira a correlacionar e modelar os registos dos sensores com as características de interesse para a gestão agrícola com um maior grau de precisão. É um trabalho de investigação algo complexo já que, na maioria dos casos, exige calibração tendo em conta a região e a altura do ano bem como com os tipos de solo e de vegetação.

2.3 Ciclo da agricultura de precisão e suas aplicações

O esquema da Figura 4 tenta representar um ciclo de agricultura de precisão.

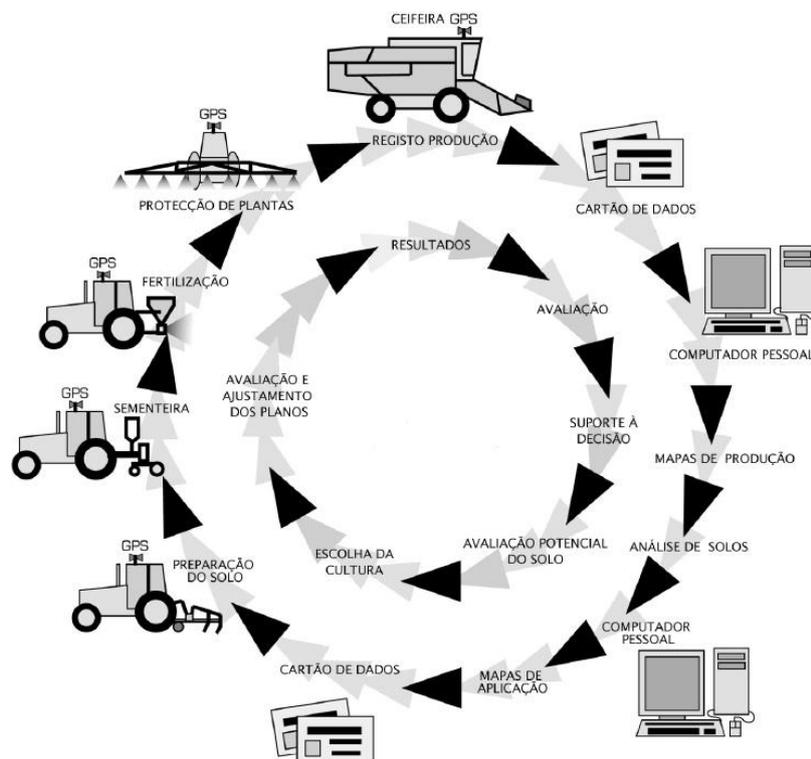


Figura 4 - Esquema geral de um ciclo de agricultura de precisão
Retirado de Coelho e Silva (2009)

Em geral, considera-se que um sistema de agricultura de precisão engloba três passos principais:

- 1- Detectar e cartografar variabilidade espacial;

- 2- Perceber as causas da sua existência;
- 3- Avaliar a possibilidade de gestão diferenciada consoante os locais de variabilidade e, em caso positivo, executá-la (Gillingham, 2001).

O primeiro passo envolve a análise das já referidas cartas de produtividade/colheita que permitem constatar a produtividade em cada local da parcela (representado na parte superior direita da Figura 4). Através destas, o produtor é alertado para as zonas "especiais" da parcela, quer por maior quer por menor produtividade, e a partir daí poderá tentar discorrer as razões para que tal se verifique - muitas vezes, necessitando de recorrer a análises de solos (passo 2 do ciclo) (Brase, 2005). Como mencionado anteriormente, as cartas provenientes dos sensores de DR podem cartografar parâmetros de solo e/ou da cultura. Desta maneira, estas cartas têm a capacidade de "encontrar" e georreferenciar variabilidade bem como, nalguns casos, identificar a sua causa - enquadram-se portanto tanto na 1º como na 2º etapa do ciclo . Assim, o 1º e 2º passos, na maioria dos casos, são assegurados, apenas e só, pela informação fornecida pela monitorização da produtividade e pela monitorização ambiental.

Por último, de maneira a completar o ciclo, o agricultor terá de analisar se a variabilidade encontrada é suficiente para compensar a adopção de técnicas de gestão diferenciada - seja na preparação do solo (Adamchuk *et al.*, 2004), na aplicação dos diversos factores de produção (parte esquerda da Figura 4) (Serrano *et al.* 2014a) ou na altura da colheita.

Em síntese, podem-se enumerar as aplicações mais correntes que a AP e o seu ciclo possibilitam ao agricultor:

- Criação de cartas de colheita/produtividade (que possibilitam a monitorização da produtividade);
- Criação de cartas que mostram a variabilidade de diversos parâmetros de solo ou cultura ao longo de uma parcela (que possibilitam a monitorização ambiental);
- Aplicação de factores de produção a taxas variáveis, sistema VRT (sejam sementes, adubos, produtos fitofármacos, água de rega ou outros);
- Condução assistida e automática por GPS - esta última aplicação não foi abordada anteriormente. Sucintamente, permite otimizar a capacidade de trabalho e o consumo por hectare, ao contribuir para uma condução mais "precisa"/rigorosa, evitando falhas ou sobreposições (Braga, 2009).

3 PASTAGENS

3.1 Importância das pastagens em Portugal e no Mundo

As pastagens permanentes (e as temporárias) têm uma grande expressão por todo o mundo. Segundo dados da FAO (2014) (Quadro 1), em 2011, estas ocupavam mais de 25% da superfície terrestre. Em termos de área agrícola, representavam praticamente 70% do uso da terra.

No caso de Portugal, segundo os mesmos dados, os valores percentuais são algo menores sem deixarem de ser bastante consideráveis. Cerca de 20% da área de Portugal é ocupada por pastagens ou prados permanentes, o que representa mais de 50% em termos de área agrícola portuguesa. São quase 2 milhões de ha (1,8 milhões) do nosso país afectos a este tipo de uso do solo. É até expectável que, com a perda de competitividade no sector dos cereais, nomeadamente na contínua redução do seu preço ao produtor, e com a elevada degradação dos nossos solos, a área de pastagens venha a aumentar (Carmona Belo *et al.*, 2008) - tendência que já se tem vindo a verificar nos últimos anos também devido às medidas de apoio da PAC, medidas agro-ambientais, que visam uma agricultura mais extensiva e/ou amiga do ambiente.

Quadro 1 - Importância, em 2011, de prados e pastagens permanentes em Portugal e no Mundo
Adaptado de FAO (2014)

	Mundo	Portugal
Total área (000 000 ha)	12 766	9
% Área agrícola	37,4%	39,8%
% Área florestal	31,0%	37,8%
Área agrícola (000 ha)	4 911 605	3 636
% Terra arável	28,6%	30,1%
% Culturas permanentes	3,2%	19,5%
% Prados e Pastagens permanentes na área agrícola	68,5%	50,4%
Área total Prados e Pastagens permanentes (000 ha)	3 364 449	1 833
Área Prados e Pastagens permanentes no total da área (%)	26,4%	20,4%

As razões que estão por detrás da grande expressão mundial e nacional das pastagens estão sobretudo relacionadas com a pobreza dos solos onde estas se situam aliada a um clima que não permite/compensa o desenvolvimento/estabelecimento de culturas mais rentáveis nesses locais (Moreira, 2002). No entanto, e apesar desta relação com locais onde solo-clima determinam um baixo potencial produtivo, as pastagens podem ter uma grande relevância para certas explorações agrícolas (nem que seja pela área que ocupam), contribuindo consideravelmente para os retornos económicos delas obtidos (Schellberg *et al.*, 2008).

Segundo Moreira (2002), pastagens são "culturas ou comunidades de plantas geralmente herbáceas, aproveitadas predominantemente no próprio local em que crescem pelos animais em pastoreio, e portanto sujeitas directamente à sua acção de preensão e ingestão (desfoliação), pisoteio e dejectação". As pastagens são, portanto, um conjunto de culturas cuja produção, biomassa, serve para alimentar animais, sobretudo herbívoros, *in situ*. Ainda mais concretamente, as pastagens são consideradas a base fundamental da alimentação de ruminantes (bovinos, ovinos e caprinos). Este facto prende-se com o elevado teor em fibra da sua biomassa (elemento que tem um papel fundamental na regulação do processo digestivo destes animais) e com a alta eficiência destes animais no aproveitamento da erva em geral (Crespo, 2011).

No entanto, em regra, a eficiência energética das pastagens é baixa ou muito baixa. A grande vantagem de utilização destas áreas de pastagem para produção animal, em detrimento do fornecimento de forragens e/ou alimentos concentrados, não está, portanto, relacionada com o seu valor energético mas sim, com o baixo custo de utilização deste alimento. Com efeito, a alimentação do gado em pastoreio não tem praticamente encargos relacionados com colheita, transformação, conservação, armazenamento, transporte e distribuição o que leva a que este seja o modo de alimentação com menor custo que existe. Para além disso, os custos de instalação da cultura/pastagem são amortizados em vários anos. É um modo de produção que permite melhorar o rendimento do agricultor, essencialmente, pela redução de despesas efectivas (Moreira, 2002).

Assim, de maneira a que as explorações, em que a pastagem é a base da alimentação animal, sejam rentáveis, é necessário ter um número de cabeças de gado e, conseqüentemente, uma área disponível consideráveis (para exponenciar essa redução de despesa). Para tal ser economicamente viável, a terra não pode ter um elevado valor e não pode ser um recurso limitante (Crespo, 2011). Daqui advém a grande adaptabilidade do Alentejo e das suas características grandes explorações às pastagens, ao pastoreio e ao modo de produção extensivo a eles associado, como será abordado no tópico seguinte.

Para além de ser o alimento mais "barato" - segundo Crespo (1975 e 1995), cada unidade forrageira (UF) de erva produzida custa cerca de 1/4 a 1/6 da UF dos concentrados, verificando-se a mesma primeira proporção (1/4) quando comparamos com o custo de produção de UF dos cereais (apesar dos custos de produção destes alimentos terem, entretanto, baixado, não deixam de ser dados relevantes) - a importância do aproveitamento das pastagens prende-se ainda com outras razões que vão sendo cada vez mais tidas em conta:

- Valoriza recursos ambientais e alimentares, erva, não utilizáveis nem pelo homem nem por qualquer outra actividade humana;
- Proporciona elevada qualidade e conseqüente maior valorização dos produtos animais que deste sistema provêm (já abordado na introdução desta dissertação);
- Contribui para a estabilidade e sustentabilidade do ambiente e dos agro-ecossistemas - nomeadamente através do seu contributo para a biodiversidade, para o aproveitamento e melhoramento de zonas de menor potencial produtivo, na regulação de alguns mecanismos ambientais como o ciclo de nutrientes e da água (Potes, 2010) e na defesa contra a erosão (Ortiz *et al.*, 2000);

- Permite um incremento da rendibilidade de explorações através da optimização do uso de recursos e por integração entre diferentes produções vegetais e produção animal (Serrano *et al.*, 2007).

3.2 Pastagens de sequeiro do Alentejo

Devido a alguns atributos característicos como é o caso da considerável dimensão média das explorações, o Alentejo é a região do nosso país onde a pastagem, o pastoreio e o modo de produção extensivo estão melhor adaptados. De facto, segundo dados do INE (2011), em 2009, o Alentejo abarcava mais de 60% da área total de pastagem e prados permanentes de Portugal o que representava mais de 50% da superfície agrícola utilizada (SAU) da região (Quadro 2). Cerca de 50-60% desta área de pastagem (Carmona Belo *et al.*, 2008) encontra-se associada à presença de sobreiros e/ou azinheiras, integrando, assim, o ecossistema Montado.

É, de facto, notória a expressão e conseqüente importância das pastagens nesta e para esta região e a repercussão que isso tem a nível nacional (Serrano *et al.*, 2012). Com efeito, esta região é responsável por grande parte dos efectivos nacionais de vacas, ovelhas e cabras produtoras de crias para carne - espécies mais adaptadas ao pastoreio - (Quadro 3) para além do "seu" porco alentejano de montanha.

**Quadro 2 - Importância, em 2009, de prados e pastagens permanentes nas várias regiões de Portugal
Adaptado de INE (2011)**

Região	SAU (ha)	Área de Prados e Pastagens permanentes (ha)	Importância de Prados e Pastagens permanentes para a SAU da região	Importância da região para os Prados e Pastagens permanentes de Portugal	Importância dos Prados e Pastagens permanentes da região na SAU de Portugal
Entre Douro e Minho	211 154	95 282	45,1%	5,3%	2,6%
Trás-os-Montes	432 873	134 614	31,1%	7,5%	3,7%
Beira Litoral	125 436	16 353	13,0%	0,9%	0,4%
Beira Interior	337 031	160 505	47,6%	9,0%	4,4%
Ribatejo e Oeste	391 006	129 055	33,0%	7,2%	3,5%
Alentejo	1 956 508	1 122 142	57,4%	62,9%	30,6%
Algarve	88 297	20 335	23,0%	1,1%	0,6%
Açores	120 412	105 790	87,9%	5,9%	2,9%
Madeira	5 426	521	9,6%	0,0%	0,0%
Portugal	3 668 145	1 784 598	48,7%	100,0%	48,7%

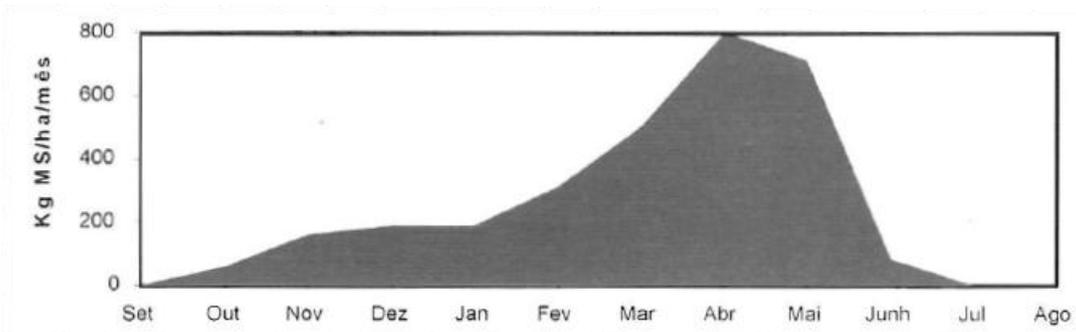
Nota: os valores para Portugal são semelhantes mas não totalmente iguais aos expressos no Quadro 1. Este facto prende-se com a diferença de 2 anos entre os dados e, talvez, com algumas diferenças nos métodos de medição, arredondamento e apresentação por parte do INE e da FAO.

Quadro 3 - Distribuição regional, em 2012, do efectivo reprodutor bovino, ovino e caprino mais vocacionado para carne Adaptado de GPP (2014)

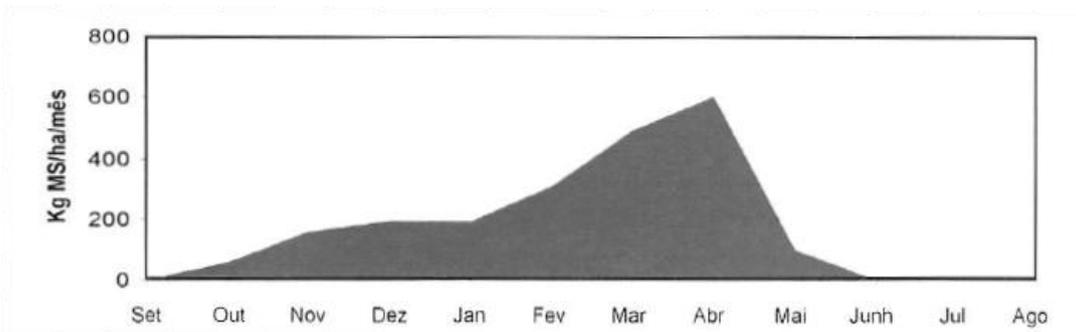
Região	Vacas aleitantes com mais de 2 anos		Ovelhas reprodutoras não leiteiras		Cabras reprodutoras	
	000 cabeças	% total	000 cabeças	% total	000 cabeças	% total
Entre Douro e Minho	33	7,5%	95	7,2%	42	13,0%
Trás-os-Montes	23	5,2%	170	12,8%	44	13,6%
Beira Litoral	8	1,8%	61	4,6%	44	13,6%
Beira Interior	29	6,6%	101	7,6%	56	17,3%
Ribatejo e Oeste	31	7,0%	95	7,2%	39	12,1%
Alentejo	284	64,3%	772	58,1%	80	24,8%
Algarve	4	0,9%	30	2,3%	10	3,1%
Açores	29	6,6%	2	0,2%	5	1,5%
Madeira	1	0,2%	2	0,2%	3	0,9%
Portugal	442		1328		323	

Para além da dimensão média da exploração, outras razões contribuem para a relevância deste sistema no Alentejo. O clima mediterrâneo, bem marcado nesta região, com os seus invernos chuvosos e verões muito quentes e secos leva a que poucas culturas de sequeiro com maior rendibilidade sejam economicamente competitivas de instalar (Garcia Fuentes *et al.*, 2000). No entanto, a falta de qualidade/potencial produtivo "genético" dos solos agravada por um histórico mau uso da terra que contribuiu, e muito, para a sua degradação (reflectidos numa reduzida espessura efectiva e num baixo teor de matéria orgânica bem como na sua má drenagem e acidez), é, de longe, o principal constrangimento que leva a que tenham de ser as pastagens a predominar nestas regiões mediterrâneas interiores (Serrano e Peça, 2009; Murillo *et al.*, 2010). Até porque são as pastagens, sobretudo quando melhoradas, como será abordado em 3.3, que contribuem para o aumento da fertilidade e potencial produtivo dos solos e que proporcionam/irão proporcionar *à la longue* uma possível intensificação da carga animal ou a implementação de outro tipo de culturas teoricamente mais rentáveis (Crespo, 2011).

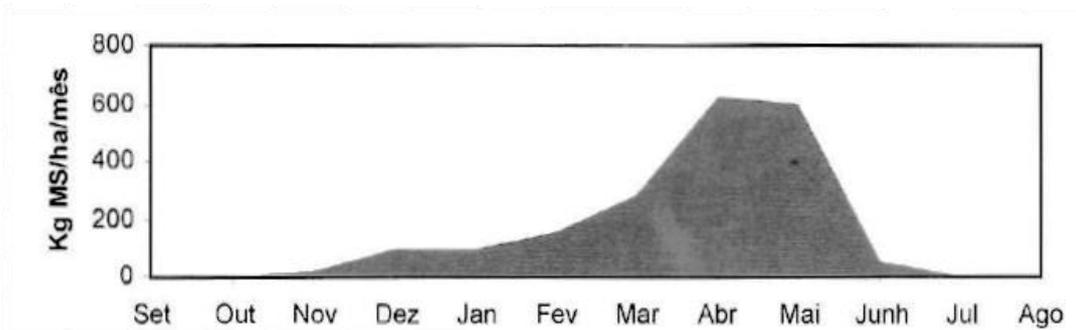
Estas mesmas condicionantes edafo-climáticas, tanto de baixa fertilidade e degradação de solos como relativas aos efeitos do clima mediterrâneo, são também responsáveis pela baixa produtividade e qualidade das pastagens naturais de sequeiro alentejano, ao impedirem/inibirem a presença de espécies com elevado valor pascícola (e, em último mas ainda frequente caso, ao favorecerem a invasão por espécies arbustivas indesejáveis) (Murillo *et al.*, 2010). Apesar disto, a principal limitação destas pastagens prende-se sobretudo com a irregularidade da sua produção ao longo do ano e também entre os vários anos, como se pode observar na Figura 5, e que em muito dificulta a gestão, manejo e programação antecipada por parte do agricultor (Cosentino *et al.*, 2013).



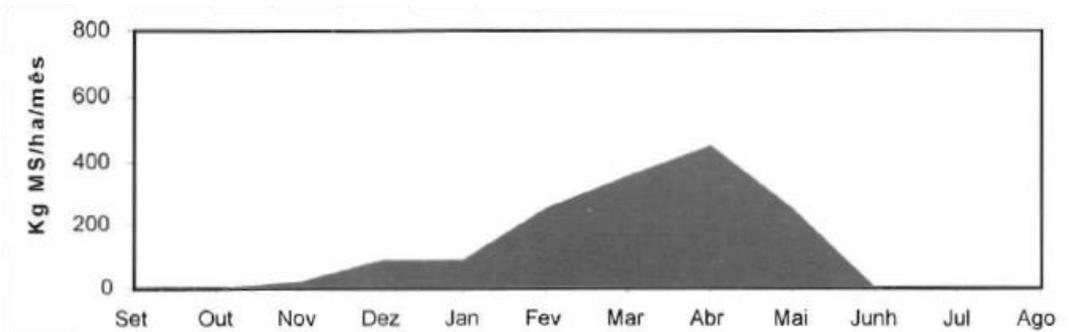
a) ano de Outono e Primavera húmidos (3000 kg MS / ha / ano)



b) ano de Outono húmido e Primavera seca (2100 kg MS / ha / ano)



c) ano de Outono seco e Primavera húmida (1900 kg MS / ha / ano)



d) ano de Outono e Primavera secos (1500 kg MS / ha / ano)

Figura 5 - Curvas de crescimento anual de uma pastagem de sequeiro mediterrâneo (alentejana) em quatro anos típicos Adaptado de Efe Serrano (2006)

Para esta(s) irregularidade(s), muito contribui a falta de água que determina a reduzidíssima produção, facilmente constatável na Figura 5, desde o fim da Primavera até às primeiras chuvas do Outono (Moreira, 2002). De facto, independentemente do ano, existem apenas dois períodos de crescimento considerável - no Outono e na Primavera - (Muslera Pardo e Ratera Garcia, 1991) já que apenas nestas alturas se verifica uma conjugação adequada de temperatura e humidade do solo essencial ao crescimento/produção de biomassa. Os excessos de frio invernal e/ou de secura estival são considerados muito menos limitadores do desenvolvimento do que a inexistência (ou curta existência) da conjugação referida (Efe Serrano, 2006).

Nos dois períodos em que se verifica a conjugação humidade do solo - temperatura, o nível/taxa de produção/crescimento de erva só não é semelhante devido às espécies se encontrarem em fases vegetativas diferentes. No Outono, as plantas encontram-se no início de crescimento (germinação e rebentação) enquanto que no período da Primavera estão em pleno desenvolvimento vegetativo (e reprodutivo) (Efe Serrano, 2006).

Resumidamente, quanto mais cedo começar a chover no Outono, quanto mais cedo se sentir o "calor primaveril" e quanto mais tempo o solo se mantiver com alguma humidade, melhor/maior será a produção do ano da pastagem e menor será a necessidade de fornecer forragem conservada, palha ou alimento concentrado de maneira a manter a condição corporal do efectivo.

Em geral e sucintamente, estas pastagens naturais de sequeiro mediterrâneas são pastagens onde predominam, pela sua adaptação, espécies anuais de grande precocidade reprodutiva - capazes de formar um "banco de sementes" duras e/ou dormentes que possibilita a sua regeneração natural e anual no início das chuvas bem como a sua tolerância/sobrevivência/adaptabilidade ao Verão seco e quente característico deste clima - destacando-se pelo seu valor e importância (quando presentes) as leguminosas (Murillo *et al.*, 2010). A adaptação destas espécies a estes ambientes está, assim, muito relacionada com o seu ciclo anual, caracterizado pela germinação no Outono, crescimento até à Primavera onde também se dá a sua fase reprodutiva (geração de flor e semente) e morte (no final da estação), passando e sobrevivendo então ao Verão sob a forma de semente no solo (Potes, 2011).

Devido à baixa fertilidade dos solos, a maioria das gramíneas existentes, família dominante, tende a ser muito pouco produtiva o que se reflecte em produções de biomassa bruta anual baixas/muito baixas, entre 1-3 t MS/ha (Efe Serrano, 2006) (variável consoante ano, solo, composição florística, espécie que pastoreia, carga animal e manejo tanto da pastagem como do pastoreio - Kurtz *et al.*, 2009). Estes factos têm como consequência um encabeçamento médio muito baixo, de cerca de 0,2-0,4 CN/ha (Simões *et al.*, 2006; Carmona Belo *et al.*, 2008), e, por isso, a necessidade de uma grande área por exploração pecuária (Muslera Pardo e Ratera Garcia, 1991). Daqui, novamente, a vocação do Alentejo para o modo extensivo de produção pecuária (Potes, 2011).

Apesar do sistema permitir um custo de produção e utilização do alimento mais baixos, estes dois factos anteriores limitam um pouco a (possível) rendibilidade do sistema.

No entanto, mais do que imputar às limitações descritas a baixa produtividade/rendibilidade que as pastagens do Alentejo nos oferecem, importa sim analisar a melhor maneira de as contrariar e/ou aproveitar.

Nesse sentido, a técnica de melhoramento de pastagens é uma das abordagens mais interessantes.

3.3 O melhoramento de pastagens de sequeiro no Alentejo

A necessidade de maior rendibilidade e, por isso, de intensificar um pouco a produção pecuária levou, desde a década de 60, ao estímulo de utilização de técnicas de melhoramento da pastagem por parte dos agricultores e produtores de gado (Gillingham, 2001). Este melhoramento pode reflectir-se tanto ao nível de um aumento de produtividade e/ou qualidade da pastagem bem como quanto à diminuição da variabilidade destas, seja espacial ou temporal, intra ou entre anos. A redução da variabilidade temporal é importante na medida em que responde à principal limitação, anteriormente abordada, destas pastagens - irregularidade da produção ao longo do seu ciclo anual, com períodos de escasso crescimento e/ou de baixo valor nutritivo. Consegue-se assim, contribuir, nesses períodos de carência, para uma menor perda de condição corporal do efectivo e/ou para a redução da necessidade de utilização de suplementos (forragem conservada e/ou alimentos concentrados) e, por isso, também para a redução de custos de produção (Cosentino *et al.*, 2013).

Sucintamente, segundo Efe Serrano (2006) "melhorar uma pastagem consiste em provocar alterações sustentáveis na sua composição florística de maneira a torná-la mais produtiva e de melhor qualidade". Este melhoramento assenta em três vias principais (Carneiro e Barradas, 2008) complementares entre si (um "trinómio" segundo Potes, 2011):

- 1- Melhoramento por introdução de leguminosas anuais seleccionadas;
- 2- Melhoramento por fertilizações adequadas, sobretudo de fósforo;
- 3- Melhoramento através do manejo da pastagem por gestão do pastoreio.

De acordo com Moreira (2002), o "verdadeiro motor" do melhoramento das pastagens é a introdução/sementeira/preservação/favorecimento de leguminosas anuais de ressementeira natural (*Trifolium* spp., *Medicago* spp., *Ornithopus* spp., entre outros). Estas leguminosas são de origem genética local e, por isso, adaptadas ao meio e, aquando de bom manejo, de elevada persistência (Murillo *et al.*, 2010). A sua baixa existência nas pastagens naturais prende-se com a baixa fertilidade dos solos bem como com algumas técnicas culturais utilizadas nos últimos anos, como mobilizações profundas e aplicações de herbicidas, que favorecem a dominância de espécies adaptadas à baixa fertilidade, mas de reduzido ou nenhum valor pratense ou forrageiro, em detrimento das referidas (Carmona Belo *et al.*, 2008; Murillo *et al.*, 2010).

Em geral, a baixa qualidade das pastagens naturais prende-se com o seu baixo valor proteico que em muito afecta a digestibilidade em geral e o nível de ingestão voluntária de matéria seca (MS) por parte dos animais, com a conseqüente lógica, mas não desejável, perda (ou não ganho) de condição corporal dos rebanhos (Crespo, 2011). Segundo Carneiro e Barradas (2008), os ruminantes precisam de cerca de 160 g de proteína por kg de matéria seca ingerido.

O valor e importância da presença de leguminosas prende-se exactamente com o elevado valor proteico que apresentam devido à sua capacidade de fixar azoto atmosférico - para estas condições, 60-260 kg N / ha / ano,

segundo Carranca *et al.* (1999) e Crespo (2011). Este facto permite assegurar, de forma sustentada, uma elevada produção de erva de excelente qualidade nutritiva e a baixo custo para além de dispensar fertilizações azotadas (com a redução de custo associada correspondente) características do manejo das pastagens atlânticas (Teixeira *et al.*, 2010). Torna então possível consideráveis aumentos de carga e da produção animal e, em última instância, uma maior rendibilidade das explorações agro-pecuárias (Crespo no prólogo de Efe Serrano, 2006).

Para além de possibilitar um aumento da produção pecuária, o melhoramento de pastagens por introdução de leguminosas comporta outra grande vantagem que se prende com a recuperação/melhoria da fertilidade dos solos. Em primeiro lugar, pelo incremento do teor de azoto no solo (50-100 kg N / ha / ano, segundo Crespo, 1975; Carranca *et al.*, 1999) devido à decomposição de raízes e de outras fracções de leguminosas ricas nesse nutriente. Em segundo lugar, este aumento do teor de azoto, levará a uma maior produção geral de biomassa da pastagem que, conseqüentemente, pela reciclagem feita pelo animal de parte da erva pastada, irá induzir um incremento de matéria orgânica (MO) no solo com os efeitos positivos associados na melhoria da sua estrutura e espessura, na disponibilidade de nutrientes e na retenção de água (Oliver *et al.*, 2000). O processo é algo moroso mas, segundo Crespo no prólogo de Efe Serrano (2006), pode levar a incrementos de MO no Alentejo na ordem de 2-3% em 10 anos ou até em menos tempo, segundo o estudo de Carneiro e Barradas (2008).

O aumento gradual de fertilidade dos solos irá, posteriormente, favorecer espécies pascícolas de melhor qualidade, nomeadamente gramíneas mais produtivas e leguminosas, e, igualmente, levar ao desaparecimento de espécies de interesse reduzido, com destaque para algumas arbustivas como a esteva (*Cistus ladanifer* L.) (Anginot e Martins, 2000). O favorecimento do crescimento de gramíneas de maior qualidade (muitas delas vivazes e, por vezes, também semeadas) tem uma importância acrescida já que são estas que contribuem para significativos acréscimos de produção (quantidade), em especial no Inverno, altura do ano habitualmente débil nesse aspecto (Potes, 2010), para além de evitarem a (ainda maior) acidificação do solo, ao utilizarem o azoto deixado em excesso no solo pelas leguminosas (Moreira, 2002).

Então, sucintamente, melhorar pastagens (melhorar comunidades herbáceas) é melhorar a fertilidade (melhorar solos) e vice-versa (Efe Serrano, 2006). A Figura 6 pretende representar isso mesmo.

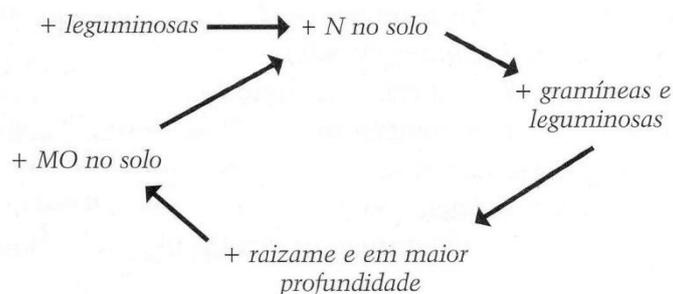


Figura 6 - Efeito do melhoramento de pastagens mediterrâneas por incremento de leguminosas
Retirado de Efe Serrano (2006)

A segunda e terceira técnicas de melhoramento anteriormente referidas servem fundamentalmente para consolidar os objectivos da implementação da primeira.

Devido ao carácter ácido da maioria dos solos da região, há a necessidade de fertilizar anualmente as pastagens com fósforo - até alcançar um nível mínimo de 80-100 mg de P_2O_5 por kg de solo (Serrano *et al.*, 2012). Esta técnica beneficia muito as leguminosas (que nele são exigentes) bem como permite obter elevadas respostas ao nível da produção (Moreira, 2002). De referir que a calagem devido ao custo, efemeridade do seu efeito e aos problemas de nutrição que pode causar (por antagonismo iónico) tem vindo a ser cada vez menos realizada.

Por fim, o melhoramento por intermédio da gestão do pastoreio é complementar e extremamente importante. Segundo Moreira (2002), "o melhoramento da produção é indissociável de uma maior e mais eficaz utilização" e "o subpastoreio degrada muito as pastagens melhoradas". De acordo com Efe Serrano (2006), "cargas animais baixas e em pastoreios pouco intensivos dificultam os programas de melhoramento" e "maiores encabeçamentos e maiores intensidades de pastoreio facilitam a sua implantação e persistência". Potes (2011) também afirma que "a melhoria da qualidade da pastagem traduz-se numa diminuição de espécies com menor valor nutritivo, que são controladas no seu desenvolvimento através do pastoreio".

Assim, as cargas animais devem ser normalmente elevadas de maneira a diminuir a selectividade e a levar a que todo o campo seja pastoreado, nomeadamente ervas/arbustos de menor qualidade que, nestas circunstâncias, tenderão a desaparecer; o que contribuirá para a melhoria da composição florística da pastagem (Amaro Pereira *et al.*, 2000) e mesmo, para a redução da sua variabilidade espacial (Trotter, 2014). Para além disso, no fim da Primavera, quando o pasto estiver a secar, elevadas cargas conduzem a baixos índices foliares, mantendo a vegetação verde e a qualidade da pastagem durante mais tempo, atenuando a senescência e a quebra de crescimento precoce, bem como fomentando uma boa produção e formação de semente essencial à perenidade destas espécies (Moreira, 2002). Durante o Verão, o pastoreio tem outra função de melhoramento já que é conveniente que pasto seco e matéria morta sejam eliminados de maneira a não comprometer a germinação das novas plantas no início da estação seguinte (Carneiro e Barradas, 2008). Desta maneira, alívios da intensidade de pastoreio apenas devem ocorrer durante a germinação no início do Outono, se Inverno muito frio ou em condições de dificuldade para a produção de semente (Rosendo *et al.*, 2000; Efe Serrano, 2006).

É praticamente unânime que melhorar pastagens no Alentejo é altamente benéfico, compensatório e que contribui para um aumento da rentabilidade económica das explorações agro-pecuárias.

Apesar de muito variáveis (consoante ano, altura em que começou o processo de melhoramento, solo, condições do local, espécie e raça que pastoreia e seu manejo entre outros), os resultados observados são quase sempre positivos. Com efeito, segundo os estudos de Simões *et al.* (2006) e de Carneiro e Barradas (2008), a produtividade anual destas pastagens melhoradas no sequeiro alentejano pode atingir entre 2,5-10 t MS/ha suportando, dessa forma, encabeçamentos médios entre 0,5-1,5 CN/ha - resultados 2-4 vezes mais elevados do que os observados e referidos anteriormente em pastagens naturais para a mesma região.

Após explicar o conceito de AP e a importância das pastagens permanentes no nosso país, sobretudo ao nível do Alentejo, percebemos a possível relevância que a utilização da primeira pode ter no sucesso e sustentabilidade das segundas (Serrano *et al.*, 2014a).

Mais concretamente, dentro das pastagens, é sobre as melhoradas e para os agricultores que as estabelecem que penso que pode fazer sentido a aplicação de técnicas de agricultura de precisão.

4 A AGRICULTURA DE PRECISÃO EM PASTAGENS MELHORADAS DE SEQUEIRO NO ALENTEJO

Até à data, as técnicas de AP têm sido sobretudo utilizadas em terra arável, nomeadamente em culturas cerealíferas (Trotter, 2010), e em vinha. Contudo, teria uma certa relevância se a sua implementação em pastagens fosse para breve. Em primeiro lugar, as pastagens, como referido anteriormente, contribuem muito substancialmente para o uso da terra agrícola bem como para o capital e receita das explorações que as possuem e utilizam (Schellberg *et al.*, 2008). Todavia, para os sistemas que utilizam pastagens, como o sistema de pecuária extensiva praticado no Alentejo, a necessidade de intensificação e de aumento de rendibilidade é a realidade actual. Com a redução de custos de equipamentos e devido ao aumento do nível de formação e da facilidade de manuseamento de tecnologias por parte dos operadores, a AP e as suas potencialidades têm todas as condições para contribuir para o necessário aumento de produtividade, eficiência e rendibilidade destes sistemas (Trotter, 2010).

A razão para que faça mais sentido a aplicação da AP em pastagens melhoradas prende-se apenas com a maior produtividade, qualidade e intensificação destas em relação às naturais e, por isso, os resultados de utilização tenderão a ser mais expressivos e comparativamente mais baratos para as primeiras. Para além disso, pastagens melhoradas são, aparentemente, implementadas e geridas por agricultores mais activos e tecnicamente preparados, o que leva a supor que sejam também mais receptivos ao tratamento da informação recebida pelos sistemas da AP bem como à sua utilização no processo de gestão e de tomada de decisão (Coelho, 2008).

O Alentejo, para além de comportar grande parte das pastagens do nosso país, apresenta-as com uma dimensão média considerável. Este facto permite, logo à partida, diluir custos seja na aquisição/amortização do equipamento, na sua utilização ou na obtenção de informação por detecção remota. Para além disso, o característico ecossistema alentejano de montado com pastagem permanente sob coberto e pastoreio extensivo praticamente contínuo, apresenta altíssima variabilidade mesmo à escala da parcela (Peça e Serrano, 2006; Elcure e Rebollo, 2010; Serrano *et al.*, 2014c) - principal requisito e ponto de partida para o uso da AP.

Em termos mais práticos, o possível contributo que a AP pode dar para a sustentabilidade, sucesso e aumento de produtividade/rendibilidade de pastagens (permanentes melhoradas) de sequeiro mediterrâneas está relacionado com os seguintes pontos:

- 1- Técnica VRT para aplicação de adubo (sobretudo, fósforo);
- 2- Estimativa da produtividade, da sua variabilidade espacial e da sua taxa de crescimento;
- 3- Avaliação da qualidade da pastagem;
- 4- Identificação e caracterização do tipo de cobertura da superfície.

A primeira técnica foi abordada no ponto 2.2 deste trabalho. Após a avaliação sistemática da variabilidade do solo e da própria pastagem permanente, passível de ser feita por métodos de detecção remota, poder-se-á implementar uma gestão diferenciada, adaptando a aplicação de fósforo ao potencial produtivo/necessidade de cada local da parcela (Serrano *et al.*, 2007). Tanto a aplicação diferenciada de fósforo numa pastagem como correlações consideráveis entre teor de fósforo extraível e índice de vegetação proveniente de informação de detecção remota já foram conseguidos, como mostram os estudos de Serrano e Peça (2009) e de Zerger *et al.* (2011), respectivamente. Esta gestão variável terá como benefícios, por um lado, a contribuição para a preservação ambiental e da pastagem (por uso mais correcto do aplicado) (Serrano *et al.*, 2010a) e, por outro, o possível aumento de produtividade e qualidade (WVU, 2008).

A generalização desta aplicação diferenciada revela-se de maior importância no Alentejo (e na maioria das pastagens de sequeiro mediterrâneas) já que a fertilização fosfatada é a principal operação realizada ou o principal *input* utilizado (após a sementeira/instalação) na melhoria de pastagens permanentes desta região (Serrano *et al.*, 2009a). Sempre que a sua aplicação for homogénea, considerando um valor médio para a parcela, haverá repercussões em termos de perdas económicas e de danos ambientais (Serrano *et al.*, 2010a; Aubert *et al.*, 2012).

O segundo ponto, isto é, conseguir estimar a produtividade, taxa de crescimento e acumulação de biomassa de uma pastagem por métodos, precisos, rápidos, frequentes, não destrutivos, de elevada resolução espacial e de baixo custo é um grande passo no que diz respeito à monitorização da pastagem, à possibilidade de melhoria na sua gestão, ao aumento de eficiência da sua utilização e ao mais correcto planeamento dos sistemas de produção animal (Porter *et al.*, 2014; Trotter, 2014). Em primeira instância, estas estimativas permitem ao agricultor gerir e otimizar o encabeçamento de cada local e da exploração em geral, contribuindo para uma mais eficiente e eficaz distribuição do efectivo (Kurtz *et al.*, 2009). Adicionalmente, ao conhecer-se previamente a quantidade (e qualidade) da(s) nossa(s) pastagem(s) e ao tomar-se isso em consideração no maneio dos animais, poder-se-ão reduzir variações na qualidade e quantidade de alimento a que estes estão sujeitos ao longo do ano, minimizando assim o importante efeito que estas variações têm na sua produção e performance e na qualidade dos seus produtos finais (Fava *et al.*, 2009; Carmona Belo *et al.*, 2014) - com o conseqüente acréscimo em termos de receita (Hill *et al.*, 2004; Trotter, 2014).

Por outro lado, ao conhecer-se a quantidade de pasto disponível, pode-se gerir atempadamente a produção/compra e stock de forragem ou concentrado e, assim, controlar/prever o orçamento destinado à alimentação (Edirisinghe *et al.*, 2012). Por último, ao ser possível quantificar frequentemente a quantidade de biomassa de uma pastagem, poderemos conhecer, com relativa precisão, a taxa de alimentação do nosso efectivo (ou "taxa de desaparecimento" de pastagem) em cada parcela/local (Hill *et al.*, 2004).

Relativamente a este contributo da AP para as pastagens, já vários estudos foram realizados como é o caso de Edirisinghe *et al.* (2012) e de Porter *et al.* (2014) no respeitante à estimativa da quantidade de biomassa por modelos baseados em índices de vegetação, de Fu *et al.* (2014) na predição da produção primária bruta também

com recurso a informação de detecção remota e de Hill *et al.* (2004) na aferição da taxa de crescimento da pastagem.

Em terceiro lugar, conseguir estimar rapidamente e com alta resolução espacial a qualidade de uma pastagem e, mesmo, a sua evolução ao longo do ano pode ser bastante útil. Si *et al.* (2012) estimaram com sucesso o conteúdo de clorofila da canóia enquanto que Fava *et al.* (2009) conseguiram bons resultados na predição da quantidade de matéria verde e da quantidade de azoto da pastagem. Estes resultados podem, logicamente, contribuir para uma melhor gestão e equilíbrio das dietas dos animais. Para a própria pastagem, poder-se-á analisar a variabilidade espacial e temporal dessa qualidade, tentar concluir acerca das causas para que tal ocorra e, possivelmente, utilizar técnicas de melhoramento que permitam reduzir o seu efeito.

Outra possibilidade permitida pela AP e pela detecção remota, sobretudo por análise de imagens digitais, prende-se com a identificação e caracterização da cobertura do solo. Laliberte *et al.* (2010) conseguiram estimar com elevada precisão o tipo de cobertura de solo (dividindo-a em solo nu, "erva" e arbustos) e, segundo o documentado em Schellberg *et al.* (2008), há bons resultados na identificação e distribuição espacial de diferentes espécies numa pastagem permanente. Estes factos, em primeira instância, podem contribuir para o melhoramento da pastagem por identificarem locais onde é mais proeminente a necessidade de monda (Adamchuk *et al.*, 2004) ou de ressementeira (Serrano *et al.*, 2012). Para além disso, permitiriam uma redução do custo e do tempo das operações de monda, seja ela mecânica ou química, sendo que neste último caso, poderiam também contribuir para reduzir a aplicação de herbicida e do impacto ambiental a ela associada. Por outro lado, ao conseguirmos ter uma ideia da distribuição de espécies e da sua expressão ao longo da parcela poderemos ter também um melhor conhecimento do valor da pastagem em si e de cada local em particular.

Por último, a AP pode ainda vir a contribuir para a protecção ambiental e daí ter uma repercussão a nível regional, estatal/nacional ou mesmo mundial, se, por modelos precisos e adequados para cada região, possibilitar medir a quantidade de carbono fixada/"sequestrada" por cada pastagem individual e por todas globalmente (Fu *et al.*, 2014), tornando-se assim numa ferramenta importante no controlo do efeito estufa e do aquecimento global.

Apesar das potencialidades e vantagens, anteriormente descritas, da utilização da AP em pastagens, algumas razões (próprias das pastagens) existem para que a sua aplicação seja reduzida ou praticamente nula. Em primeiro lugar, as pastagens, em comparação com outras culturas, têm menor margem (económica) o que limita um pouco a possível aplicação de algumas técnicas (Gillingham, 2001).

Em segundo lugar, as pastagens apresentam elevada variabilidade. Primeiro, são compostas por uma grande diversidade de espécies onde diferentes fenologias se verificam simultaneamente (Numata *et al.*, 2008) o que se repercute numa arquitectura da canóia muito complexa (Kurtz *et al.*, 2009) bem como numa grande variedade de cores e morfologias. Para além disso, a variabilidade de solos, sua fertilidade e do relevo numa mesma parcela leva a uma distribuição espacial irregular de espécies (Schellberg *et al.*, 2008), muito acentuada também temporalmente, ao longo do ano e entre anos (Edirisinghe *et al.*, 2012; Serrano *et al.*, 2013). Por outro lado, o

próprio efeito do pastoreio repercutido numa desfoliação e redistribuição de nutrientes irregulares também contribui para o incremento dessa variabilidade (Schellberg *et al.*, 2008; Trotter, 2014).

A juntar à heterogeneidade de uma pastagem, a variação existente de pastagem para pastagem também dificulta muito a generalização de resultados (Serrano *et al.*, 2014a).

Tanta variabilidade torna-se bastante difícil de medir/explicar para estes métodos.

Porém, quanto maior variabilidade/heterogeneidade, maior o desafio para a AP (Gillingham, 2001). Provavelmente, devido a estas dificuldades próprias, em certos casos, será necessária maior experimentação, amostragem e correlação bem como modelos mais complexos e de grande escala, adaptados regional ou mesmo apenas localmente, para se conseguir atingir a precisão necessária (Serrano *et al.*, 2009b; Trotter, 2010; Serrano *et al.*, 2014a). Métodos com maior resolução espacial (Olexa e Lawrence, 2014) e espectral (Numata *et al.*, 2008; Si *et al.*, 2012) também deverão facilitar a implementação e generalização deste tipo de agricultura em pastagens que poderá contribuir para uma maior sustentabilidade do sistema bem como para uma melhor gestão e planeamento por parte do agricultor.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área em estudo

5.1.1 Descrição geral da exploração e da parcela

A parcela em estudo tem como coordenadas geográficas do seu centróide 38° 41,459' Norte e 7° 18,565' Oeste. Encontra-se inserida na Herdade de Pão Mole que pertence à freguesia de São Brás dos Matos, concelho de Alandroal. A propriedade é constituída por 232 ha e a sua exploração está a cargo da Sociedade Agrícola da Herdade do Pigeiro, sua detentora. As actividades agrícolas existentes na propriedade são a cultura de milho (*Zea mays* L.) e a pecuária extensiva tanto de bovinos de carne como de porcos alentejanos.

A parcela que serviu de base aos estudos desta dissertação, Figura 7, é um dos locais de aproveitamento da exploração para pecuária. Apresenta 100 ha de montado de azinho de média-alta qualidade (de densidade de 30-40 árvores de médio-grande porte por hectare) com um sob coberto de pastagem permanente biodiversa de sequeiro. É ainda dotada, a Nordeste, de uma barragem que serve para fornecimento de água aos animais (zona de verde mais escuro da Figura 7, contígua mas fora da delimitação).

Toda a parcela se encontra delimitada por cerca.



Figura 7 - Imagem da parcela em estudo (delimitada pela linha azul)
Adaptado de Carta Militar nº441 (detida pelo proprietário)
Escala 1 : 16 400

5.1.2 Itinerário cultural

O Quadro 4 especifica todas as intervenções realizadas na pastagem da parcela em estudo desde a sua instalação no Outono de 2010.

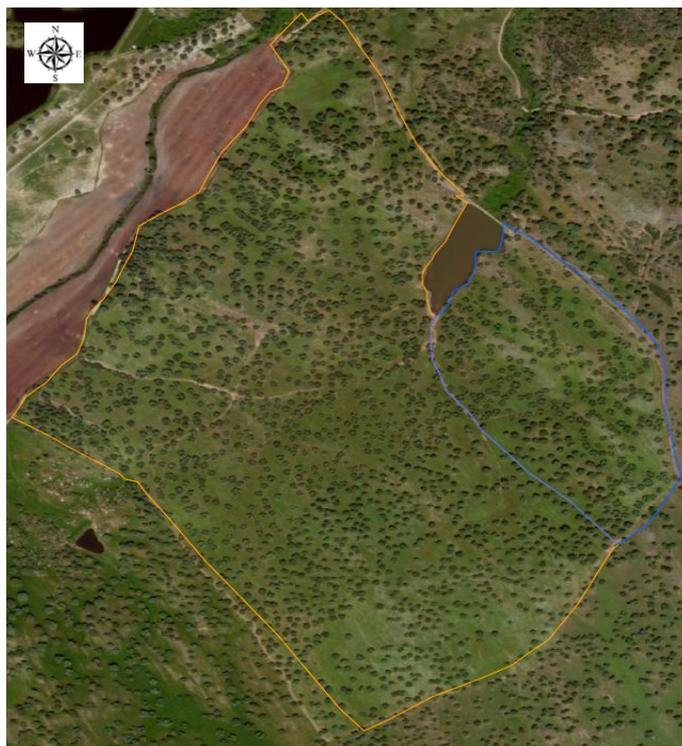
Quadro 4 - Itinerário cultural da pastagem da parcela
Dados cedidos pelo proprietário

Operação	Data	Área (ha)	Produto	Quantidade total (kg)	Quantidade/ha
Sementeira	13/10/2010	14 ha	Fertiprado AC500	350 kg	25 kg
Sementeira	13/10/2010	86 ha	Fertiprado AC600	2 150 kg	25 kg
Adubação de fundo	13/10/2010	79 ha	0 - 26,5 - 0	12 575 kg	159 kg
Adubação de fundo	13/10/2010	21 ha	Super 18%	3 500 kg	167 kg
Adubação de cobertura	22/01/2014	100 ha	0 - 25 - 0	15 625 kg	156 kg

A razão para a mistura pratense utilizada na parcela não ter sido a mesma em todos locais prende-se com a diferente espessura efectiva do solo em algumas zonas. Assim, utilizou-se a mistura Fertiprado AC500, de composição em espécies semelhante à AC600 mas com variedades de ciclo mais curto (Quadro 5), na zona de solos mais delgados (Figura 8).

Quadro 5 - Composição das misturas Fertiprado AC500 e Fertiprado AC600
Dados cedidos pela empresa Fertiprado

Espécies de leguminosas presentes nas misturas utilizadas	
AC500	AC600
<i>Trifolium subterraneum</i> (TS)	<i>Trifolium subterraneum</i> (TS)
<i>Trifolium michelianum</i>	<i>Trifolium michelianum</i>
<i>Trifolium resupinatum</i>	<i>Trifolium resupinatum</i>
<i>Trifolium vesiculosum</i>	<i>Trifolium vesiculosum</i>
<i>Trifolium incarnatum</i>	<i>Trifolium incarnatum</i>
<i>Ornithopus sativus</i>	<i>Ornithopus sativus</i>
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Lolium multiflorum</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Dactylis glomerata</i>
	<i>Medicago polymorpha</i>



**Figura 8 - Imagem da parcela com identificação da área em que foi utilizada a mistura Fertiprado AC500 (a azul) e em que se utilizou a mistura Fertiprado AC600 (a cor de laranja)
Escala 1: 17 000**

Já a aplicação de fundo de dois tipos de adubos fosfatados, 0-26,5-0 e Super 18%, esteve apenas relacionada com a gestão de stock de adubos por parte da exploração. O facto da primeira adubação de cobertura só ter sido realizada cerca de três anos depois da instalação da pastagem é justificada, pelo proprietário, pelo custo da operação e por falta de oportunidade/tempo nos anos anteriores para realizar esse trabalho.

Para além do itinerário cultural anteriormente especificado e referido, outras técnicas têm sido utilizadas de maneira a proteger e melhorar a pastagem e a parcela em si. No que toca à gestão do pastoreio, tentam-se utilizar cargas animais adequadas durante o tempo adequado e pretende-se que os animais pernoitem em zona limpa de maneira a não dejectarem perto das árvores o que as afecta e contribui para a variabilidade espacial da parcela (Serrano *et al.*, 2013; Trotter, 2014). Para além disso, tenta-se gerir o maneio reprodutivo dos efectivos de maneira a que as maiores necessidades destes coincidam com a altura de maior quantidade e qualidade da pastagem (técnica abordada por Muslera Pardo e Ratera Garcia, 1991).

Como gestão da parte arbórea, seguem-se estratégias de protecção e preservação do "novo montado" aquando da sua regeneração natural bem como se removem as árvores mortas ou em claro declínio. A poda de azinheiras e a gradagem de arbustivas são outras técnicas utilizadas, apesar de muito espaçadas temporalmente (aproximadamente de 15 em 15 anos).

Por último, procede-se à descompactação do solo nos locais e quando é notória essa necessidade.

Quanto ao ano agrícola 2013-2014, para além da intervenção através da adubação fosfatada de cobertura, a pastagem foi utilizada durante cerca de quinze dias, no fim de Janeiro-início de Fevereiro, por 250 porcos

alentejanos para aproveitamento da bolota do ano e, praticamente de seguida, por cerca de 200 vacas alentejanas por um período de aproximadamente 20 dias. Esta utilização pode ter tido como consequência e pode justificar uma menor qualidade e/ou quantidade de matéria seca da pastagem, aquando das recolhas de material para este trabalho (Maio).

5.1.3 Caracterização climática

A caracterização climática da parcela em estudo foi feita tendo em conta a região de Elvas devido à dificuldade de encontrar dados precisos e contínuos para a localidade do Alandroal.

O clima na região, segundo a classificação de Köppen, é Csa - clima temperado húmido de Verão seco (clima mediterrâneo), longo e quente (Tristany, 2010) - já que, sucintamente, a temperatura média do mês mais frio (em regra, Janeiro) é inferior a 18°C e superior a -3°C e a temperatura média do mês mais quente (em norma, Julho) é superior a 22°C. A precipitação, que varia entre 450-600 mm anuais, está concentrada nos meses mais frios, de Inverno e da Primavera. Este facto leva a que este tipo de clima, mediterrâneo, seja o único do mundo, a par das regiões desérticas, em que praticamente não há precipitação durante o Verão.

Já de acordo com a classificação de Thornthwaite, que se baseia em índices de humidade e de eficiência térmica, o clima de Elvas é C1 B'2 s2 b'4 ou seja, sub-húmido seco, mesotérmico, com grande excesso de água no Inverno e com uma concentração moderada da eficiência térmica no Verão (ARH Alentejo, 2012).

Segundo classificações mais simplistas como as que se baseiam apenas na temperatura média anual ou na precipitação média anual, Elvas apresenta um clima temperado (temperatura média anual entre 10-20°C) e moderadamente chuvoso (precipitação média anual entre 500-1000 mm) (Tristany, 2010).

As Figuras 9 e 10 representam diagramas ombrotérmicos de Gaussen para a região de Elvas segundo dados climáticos históricos e do ano agrícola 2013-2014 (os dados encontram-se especificados no anexo I; no anexo II é apresentado um gráfico com os dois diagramas juntos). A observação de ambas as figuras permite constatar que os diagramas ombrotérmicos do clima desta região são bastante característicos; a razão para tal prende-se exactamente com a possível clara distinção entre os dois períodos característicos deste tipo de clima: 1- húmido e (moderadamente) frio e 2- quente e seco (Nicol *et al.*, 2013).

Ao compararmos os dois gráficos, notamos que não há diferenças muito significativas entre o ano agrícola 2013-2014 e a média histórica. Quanto à temperatura, o Inverno do ano agrícola 2013-2014 foi sensivelmente mais frio que o normal (à excepção do mês de Janeiro) o que pode ter contribuído, mas em pequena escala, para um pior estabelecimento e menor crescimento da pastagem. Quanto à precipitação, na sua totalidade, no ano agrícola 2013-2014 foi de aproximadamente 500 mm, um pouco abaixo da média (Figura 11), mas também sem grande relevância.

Diagrama ombrotérmico de Gausсен para Elvas (dados históricos)

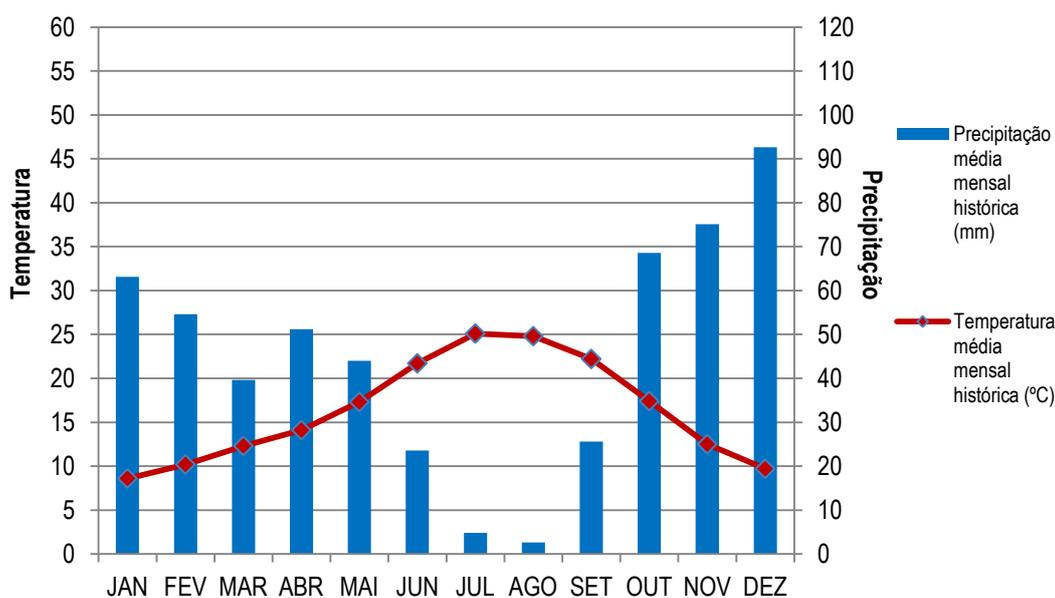


Figura 9 - Diagrama ombrotérmico de Gausсен para Elvas (segundo dados climáticos dos últimos 30 anos)

Diagrama ombrotérmico de Gausсен para Elvas (ano 2013-2014)

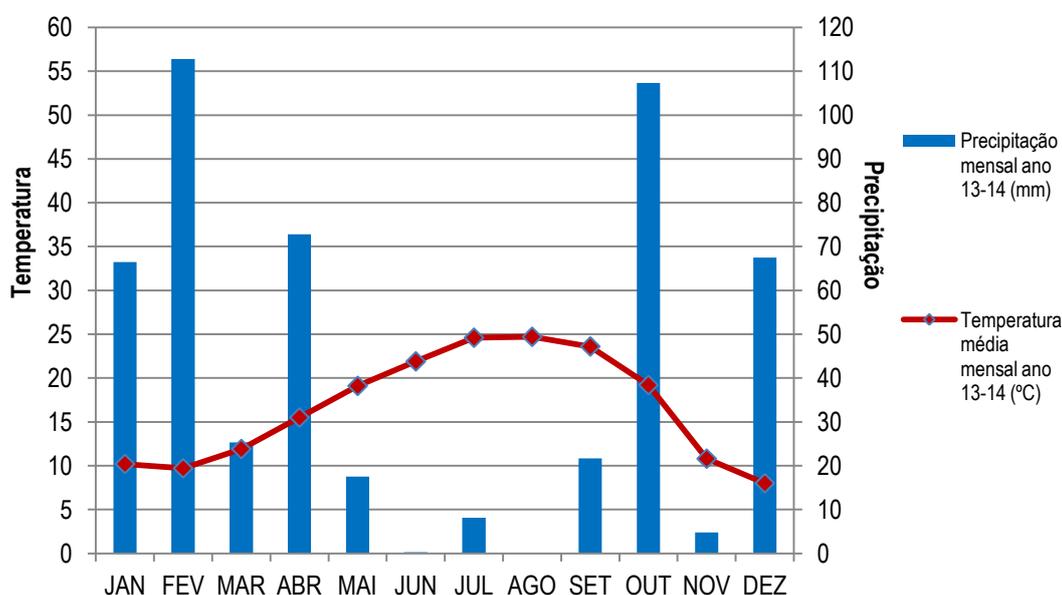


Figura 10 - Diagrama ombrotérmico de Gausсен para Elvas (segundo dados climáticos do ano agrícola 2013-2014)

O único facto que poderá ter afectado a pastagem e alterado a sua habitual estação de crescimento (de Setembro a Maio) em relação a anos anteriores prende-se com o início mais precoce da época quente e seca. Com efeito, no ano agrícola de 2013-2014, em Maio e Junho, a juntar à precipitação ter sido mais reduzida que a média, as temperaturas médias mensais também foram mais elevadas. Esta conjugação pode ter conduzido a

que a pastagem se tenha mantido em bom estado vegetativo durante menos tempo, com as devidas repercussões em termos de quantidade e qualidade do pasto.

Contudo, estas pequenas diferenças não são suficientes para não considerar o ano 2013-2014, no Alentejo, como um bom ano para as pastagens.

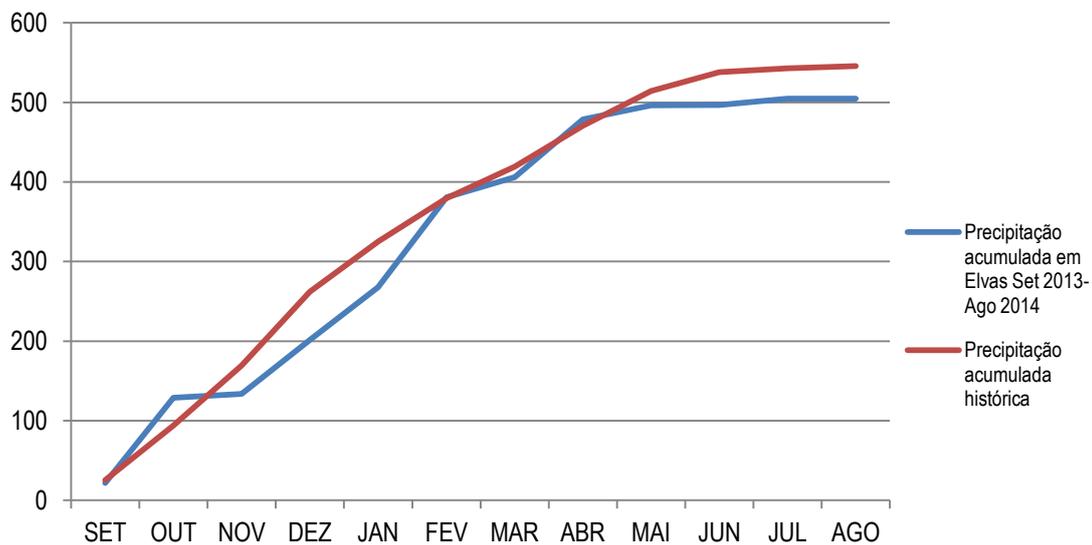


Figura 11 - Comparação da precipitação acumulada entre o ano agrícola 2013-2014 e a média dos últimos 30 anos

5.1.4 Caracterização edáfica

Segundo a Carta de Solos de Portugal nº 37C, a parcela em estudo apresenta cinco tipos de solo, que, por em alguns casos estarem combinados em associações, formam, no total, seis unidades diferentes de solo (Figura 12): Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Normais de xistos ou grauvaques (Px), uma associação entre estes e Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos de Materiais Não Calcários Normais de xistos (Vx), uma associação novamente entre os primeiros e Litossolos dos Climas Sub-húmidos e Semiáridos de xistos ou grauvaques (Ex), uma associação de solo Vx com solo Ex, Solos Calcários Pardos dos Climas Sub-húmidos e Semiáridos Normais de xistos associados a depósitos calcários (Pcx) e, por fim, Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos de Materiais Não Calcários Normais de "rañas" ou depósitos afins (Sr).

As áreas descritas como uma associação de dois tipos diferentes de solo (exemplo, Vx + Ex) existem devido ao facto da variação entre esses, nas áreas consideradas, ser constante/contínua e contígua, o que, à escala da carta, impossibilita a delimitação e separação de áreas homogéneas para cada um dos tipos de solos.

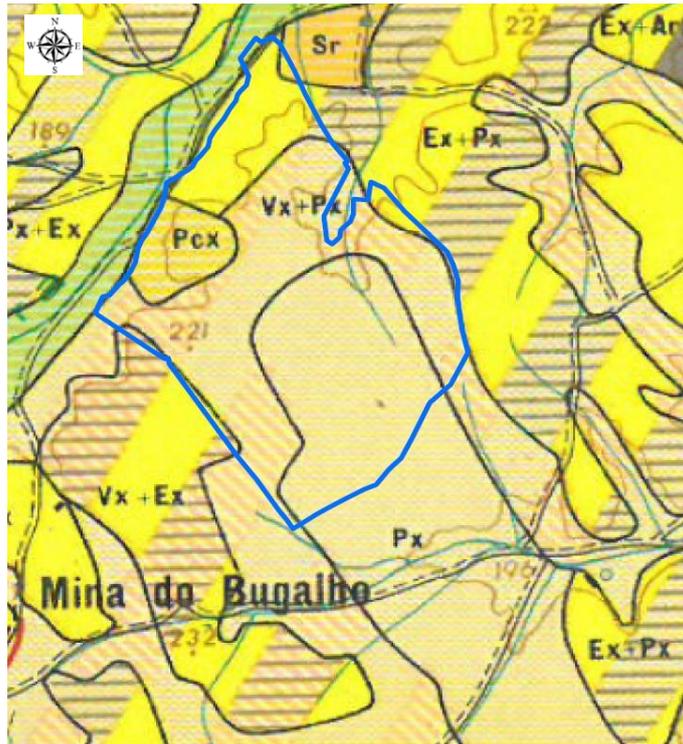


Figura 12 - Representação da parcela em estudo (delimitada a azul) na Carta de Solos de Portugal nº 37C
Escala 1: 22 900

Segundo Carvalho Cardoso (1965), o solo Px, Solo Mediterrâneo Pardo de Materiais Não Calcários Normais de xistos ou grauvaques, é considerado um solo evoluído, com uma profundidade entre 25 - 55 cm, argiluvado e pouco insaturado devido principalmente ao processo predominante na formação deste solo, a argiluviação, e ao clima pouco húmido responsável por um elevado grau de saturação, que se acentua com a profundidade (horizonte B, onde se verifica um grande aumento da percentagem de argila, com grau de saturação superior a 75%).

O tipo de solo Vx, Solo Mediterrâneo Vermelho ou Amarelo de Materiais Não Calcários Normais de xistos, é bastante semelhante ao tipo de solo anterior (são da mesma Ordem). Também evoluído, de reacção ácida, com uma capacidade de troca catiónica baixa, pouco insaturado e com um horizonte de acumulação de argila. No entanto, pode ser algo mais profundo (até cerca de 70 cm) e apresenta uma cor diferente (no caso da parcela, vermelho). A diferente coloração está relacionada com a maior presença de óxidos de ferro.

O solo Ex, Litossolo dos Climas Sub-húmidos e Semiáridos de xistos ou grauvaques, é um solo incipiente, pouco evoluído que, por isso, apresenta uma espessura efectiva normalmente inferior a 10 cm. Tem, portanto, uma baixíssima fertilidade e encontra-se, na grande maioria das situações, em locais de relevo excessivo. A sua reacção tende a ser menos ácida do que a dos solos apresentados anteriormente.

O tipo de solo Pcx, Solo Calcário Pardo dos Climas Sub-húmidos e Semiáridos Normais de xistos associados a depósitos calcários, é um solo pouco evoluído, com um perfil ApC. O horizonte Ap tem uma profundidade entre os 25-40 cm, é medianamente calcário - razão para que o pH esteja compreendido entre os 7,5 e os 8,5 - e tem uma cor parda, como o nome do tipo de solo indica. Apresenta, por vezes, fragmentos de xisto associados a depósitos calcários que resultaram da meteorização do material originário. A maior ou menor abundância/concentração destes carbonatos é que determinará, respectivamente, a menor ou maior fertilidade do solo.

Por fim, o solo Sr, Solo Mediterrâneo Vermelho ou Amarelo de Materiais Não Calcários Normais de "rañas" ou depósitos afins, é um solo muito semelhante a Vx (são da mesma Ordem, Subordem, Grupo e Subgrupo). Apresenta uma cor castanha ou parda avermelhada, portanto, com menor teor de óxidos de ferro que o solo Vx, e, normalmente, bastantes elementos grosseiros ao longo de todo o seu perfil. Para além disso, o horizonte C é composto por material detrítico pouco consolidado do tipo "raña".

Para além das particularidades acima abordadas, todos os tipos de solos existentes na parcela têm, em geral, uma textura pesada e de grande coerência, um carácter ácido (à excepção do solo Pcx), uma permeabilidade baixa relacionada com uma espessura efectiva reduzida e/ou com um horizonte compacto, uma capacidade de troca cationica baixa e a rocha-mãe a partir do qual se formaram é não-calcária, um xisto. São ricos em potássio mas algo pobres em fósforo sendo a razão C/N também baixa o que contribui para um baixo teor de matéria orgânica. No caso da parcela em estudo como iremos analisar no ponto 6.1, esse valor, em alguns locais, é médio ou mesmo alto devido, sobretudo, à cultura, leia-se pastagem melhorada, instalada. De facto, pelas análises realizadas, nota-se que a variabilidade dos solos da parcela e dos seus parâmetros é maior do que o descrito neste tópico. No entanto, genericamente, tendo em conta a carta dos solos de Portugal, estes são os solos e associações de solos que se encontram representados na parcela que é alvo de estudo nesta dissertação.

5.2 Métodos de amostragem e de tratamento das amostras

5.2.1 Amostragem para avaliação da variabilidade espacial e metodologia de recolha de dados de campo

No dia 9 de Maio de 2014 foi efectuado um voo (por avião) à parcela em estudo, a cerca de 500 m de altitude, que permitiu medir a radiação emitida e reflectida por cada local da sua superfície nas bandas do visível e do infra-vermelho próximo (NIR) (com uma resolução espacial de 15 cm). A partir destes dados e imagens, foi possível criar cartas da parcela quer do NIR e do compósito visível quer ainda dos diversos índices de vegetação (descritos em 5.3.1).

Através da carta do índice de vegetação NDVI foi constatada a evidente heterogeneidade espacial da pastagem, tendo-se, então, a partir da mesma e de modo a considerar todas as classes de valor deste índice, escolhido e georreferenciado 47 locais/pontos (de 1-50, os números 18, 41 e 42 foram excluídos) que formam o conjunto amostral deste trabalho (Figura 13).

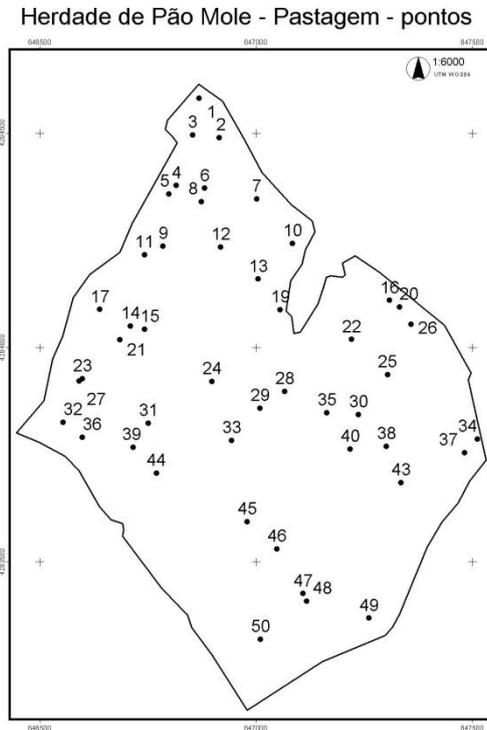


Figura 13 - Carta da parcela que representa cada local de amostragem

Posteriormente, no campo, nos dias 19 e 20 de Maio, com recurso a um GPS Trimble 4700-RTK, esses pontos foram marcados no terreno. Nesses locais, estabeleceu-se uma área representativa, com o auxílio de um quadrado de madeira de 0,25 m², de onde foram retiradas amostras de solo bem como todo o material vegetal existente acima da superfície. Para a colheita de cada amostra compósita de solo utilizou-se uma sonda de inox que, em cada um dos 47 pontos, perfurou o solo aleatoriamente (mas dentro da área do quadrado) 3-4 vezes até cerca de 20 cm de profundidade. O material vegetal existente na área do quadrado, em cada um dos locais de amostragem, foi recolhido na sua totalidade com o auxílio de uma tesoura de corte.

Tanto o material vegetal como as amostras de solo foram colocados separadamente em sacos de plásticos previamente numerados segundo o local/ponto a que correspondiam.

5.2.2 Métodos de caracterização laboratorial do material vegetal e do solo

As amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Química Agrícola da Escola Superior Agrária de Elvas do Instituto Politécnico de Portalegre. Para cada uma delas determinou-se a textura (por determinação expedita), reacção do solo (por medição de pH em água destilada), teor de matéria orgânica (pelo método, indirecto por via húmida, Wakley & Black) e fósforo (pelo método de Egner-Riehm recorrendo à espectrofotometria/colorimetria de absorção molecular) e potássio (pelo método Egner-Riehm recorrendo à fotometria de emissão de chama) extraíveis (anexo VII).

O material vegetal foi tratado no Laboratório Pais de Azevedo do Instituto Superior de Agronomia. Em primeiro lugar, cada uma das 47 amostras foi pesada e dividida em quatro grupos - Gramíneas, Leguminosas, Outras (famílias) e Resíduos vegetais - que também foram pesados individualmente. Posteriormente, colocaram-se separadamente todos os grupos das amostras numa estufa a 65°C durante 48 horas. Após este período, pesou-se tudo novamente de maneira a ser obtido o valor de matéria seca de cada grupo de cada amostra (anexo III). No caso da fracção de leguminosas, foi ainda feita uma separação segundo espécies, que também foi alvo de pesagem individual (anexo IV).

Seguidamente, após se voltarem a juntar todos os grupos segundo o local/ponto a que correspondiam, cada amostra foi moída, com crivo de 1 mm de malha.

Após a moenda, uma parte de cada uma das 47 amostras foi seca durante 24 horas numa estufa a 100-105°C, de maneira a ser calculado o valor de humidade residual, e, de seguida, incinerada durante 8 horas numa mufla a cerca de 500°C para ser calculado o teor em cinza.

A partir de cada amostra moída também foi possível calcular o teor de proteína bruta (PB), através do método de Kjeldahl. Os valores das fracções constituintes da fibra, NDF (estima o valor de hemicelulose, celulose e lenhina), ADF (celulose mais lenhina) e ADL (lenhina), também foram obtidos, pelo método de Van Soest.

Através destes valores foi ainda possível calcular o valor energético - através de equações expressas em INRA (2007) e que se encontram no anexo VIII - de cada amostra/ponto/local (anexo VI).

Todas estas análises e seus resultados serviram de base para avaliar a variabilidade espacial do solo e da pastagem da parcela - objectivo 1 deste trabalho.

De referir, desde já, que o período de tempo entre a colheita do material vegetal no campo e a sua secagem na estufa a 65°C foi, em alguns casos, de duas semanas o que pode ter contribuído para uma certa degradação e, conseqüente, perda de valor dessas amostras (sobretudo em termos de teor de proteína) antes da realização das análises anteriormente referidas.

5.3 Métodos de tratamento dos dados

5.3.1 Índices de vegetação

As imagens directamente obtidas pelos sensores do avião que realizou o voo sobre a parcela foram tratadas num software de informação geográfica de maneira a permitir retirar, para cada um dos pontos de amostragem, o valor registado em cada banda do visível e do infra-vermelho próximo (NIR). Os diferentes índices de vegetação utilizados foram calculados a partir de relações entre esses valores.

Os vários IV utilizados e as equações para o seu cálculo são seguidamente apresentados (Jackson e Huete, 1991; Haboudane *et al.*, 2004; Agapiou *et al.*, 2012; Grave, 2013; Penteadó, 2014):

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) $= \frac{NIR-R}{NIR+R}$
- PCD (Plant cell density) $= \frac{NIR}{R}$
- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) $= \frac{NIR-R}{NIR+R+L} \times (1 + L)$, com $L = 0,5$
- PVR (Photosynthetic Vigour Ratio) $= \frac{G}{R}$
- PPR (Plant pigment ratio) $= \frac{G}{B}$
- IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index) $= \frac{NIR}{NIR+R}$
- DVI (Difference Vegetation Index) $= NIR - R$
- SGB (Subtraction Green Blue) $= G - B$
- RB (Red Blue) $= \frac{R}{B}$
- NDVIg (Normalized Difference Vegetation Index - Green) $= \frac{NIR-G}{NIR+G}$
- NDRGI (Normalized Difference Red Green Index) $= \frac{R-G}{R+G}$
- NDGBI (Normalized Difference Green Blue Index) $= \frac{G-B}{G+B}$
- I (Intensidade) $= G + B + R$
- RPER (Red Percentage) $= \frac{R}{I}$
- GPER (Green Percentage) $= \frac{G}{I}$
- BPER (Blue Percentage) $= \frac{B}{I}$
- NIRPER (Near Infrared Percentage) $= \frac{NIR}{I}$

5.3.2 Tratamento estatístico

O tratamento estatístico de todos os dados obtidos e utilizados foi feito com o auxílio do software STATISTICA 8.0.

Em primeiro lugar, foi realizada uma análise estatística descritiva sumária (onde se calculou: máximo, mínimo, média, desvio-padrão, variância, coeficiente de variação, 1º quartil, mediana, 3º quartil e amplitude) tanto sobre as variáveis dos dados recolhidos no campo como sobre os índices de vegetação calculados. Para alguns dos casos, foram criadas cartas que mostram a distribuição espacial dos valores observados.

Seguidamente, foram feitas análises de correlação entre as variáveis de campo e entre estas e os índices de vegetação de maneira a averiguar quais apresentaram maior relação entre si. Nos resultados mais significativos, para as variáveis de maior importância (Matéria Seca total, Proteína Bruta e Energia Net de engorda), foram ainda elaborados gráficos demonstrativos das regressões lineares simples correspondentes.

Por último, foram criados modelos estatísticos descritivos (segundo o método "*General linear regression model*" com opção "*best of subsets*") para as variáveis Matéria Seca total, Proteína Bruta e Energias Net (variáveis dependentes) a partir das correlações mais significativas obtidas entre estas e os índices de vegetação (variáveis independentes).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Variáveis de campo

6.1.1 Estatística descritiva

Os dados provenientes do tratamento do material vegetal e das amostras compósitas de solo recolhidos no campo foram sujeitos a uma análise estatística descritiva. Este é o primeiro passo para se perceber e avaliar a variabilidade espacial da parcela. De entre os parâmetros estatísticos utilizados e constatáveis no Quadro 6, o mais importante, para este caso e propósito, é o coeficiente de variação (CV). Este coeficiente exprime o desvio-padrão de um conjunto de dados em função/percentagem do seu valor médio. Desta maneira, fornece um valor perceptível que facilmente nos permite analisar e comparar o nível de dispersão/variação de conjuntos de dados. No caso específico deste trabalho, o CV é o parâmetro que permite mensurar e melhor avaliar o grau/magnitude de variabilidade espacial apresentado por cada variável estudada - objectivo 1 desta dissertação -, sendo que, segundo o estabelecido pelo orientador Doutor Ricardo Braga, para este trabalho, valores de CV superiores a 10% indicam variabilidade espacial relevante.

Após a análise dos resultados da estatística descritiva expressos no Quadro 6, podemos concluir que:

- À excepção dos vários componentes da fibra (principalmente, NDF e ADF), das Energia Net (EN), do pH e do teor em proteína bruta, todas as variáveis apresentam um coeficiente de variação acima de 30%. Este facto indica-nos que a parcela apresenta uma variabilidade espacial muito considerável (pelo menos ao nível das variáveis analisadas) e sugere a possibilidade de uma gestão diferenciada segundo os diversos locais ou, por outras palavras, a aplicação de técnicas/informação proveniente de agricultura de precisão;
- No entanto, apesar de não muito elevados, os valores dos coeficientes de variação do teor proteico e da Energia Net de engorda foram, respectivamente, de 19% e 15%. Devido à importância que estas variáveis têm para o valor qualitativo da pastagem, este nível de variabilidade não é de menosprezar em termos de gestão da parcela - facto corroborado e reforçado pela considerável amplitude verificada nos valores observados para ambas as variáveis.

Em oposição, a variação da variável pH do solo (igualmente CV de 15%) não tem tanta relevância já que este valor seria bem menor não fosse a existência de alguns *outliers* superiores (valor máximo = 8,4) que fogem à grande maioria das observações (mediana = 5,9 e 3º Quartil = 6,3) e aos valores normais para os solos do Alentejo;

- No que respeita às outras variáveis relacionadas com o solo, o teor de matéria orgânica apresentou um CV de 30% e os seus valores variaram consideravelmente - entre 1 e 6%. Os teores de potássio e fósforo extraíveis ainda apresentaram coeficientes de variação mais significativos (52% e 115%, respectivamente) apesar de parte desta elevadíssima variabilidade estar associada ao efeito de um

pequeno grupo de observações que apresentou valores bastante elevados (por exemplo, para o fósforo, o valor máximo foi de 404 mg/kg enquanto que o valor do 3º Quartil foi de 76,5 mg/kg).

- Todas as diferentes famílias/fracções em que foi separado o material vegetal também apresentaram coeficientes de variação bastante consideráveis (entre 47-120%), tal como seria de esperar pelo observado aquando da recolha. A fracção correspondente à família das leguminosas foi, de todas as estudadas, a segunda variável que apresentou um CV mais alto, 120%. Este valor bastante elevado juntamente com os também elevados nas outras variáveis que se relacionam com esta família estão, em parte, ligados ao facto de todas estas variáveis terem como valor mínimo 0 (anexo V) - significa que, pelo menos, em algum dos 47 locais de amostragem não havia nenhuma leguminosa - o que pode levar a um aumento do desvio-padrão (em alguns casos, como na "Proporção de Leguminosas na MS total" e na variável que apresentou maior valor de CV, "Proporção de espécies de leguminosas não semeadas no total de leguminosas", esse aumento do desvio-padrão é de tal ordem que leva este parâmetro a superar o valor médio da variável - daí o coeficiente de variação ser superior a 100% nesses casos);
- Por fim, a variável Matéria Seca total, de grande importância já que corresponde ao valor quantitativo da pastagem, apresenta um CV de 43%. Apesar de também estar relacionado com a presença de alguns *outliers*, a sua amplitude é enorme (de 5 208 kg/ha). A identificação desta disparidade bem como da localização das zonas mais produtivas e das razões que levam as outras a não alcançarem esse nível terão, com certeza, importância para a gestão presente e futura da pastagem.

Do ponto de vista agronómico, podem ainda ser feitos alguns comentários sobre os resultados da análise estatística realizada às variáveis de campo tratadas:

- Em termos quantitativos, a pastagem em estudo apresenta resultados bastante positivos, como prova o valor médio da variável Matéria Seca total - praticamente 2 500 kg MS/ha. Para além disso, apresenta este valor após a pastagem ter sido pastoreada por porcos alentejanos e vacas aleitantes, conforme descrito no ponto 5.1.2. Este valor de produtividade vai em linha de conta com o abordado em 3.2 em termos de quantidade produzida por pastagens melhoradas de sequeiro no Alentejo.
Contudo, a pastagem também apresenta alguns locais com uma altíssima produtividade para a data da colheita das amostras e tendo em conta o pastoreio a que foi sujeita - máximo de 5 648 kg MS/ha. Esta situação alerta-nos para um possível sub-pastoreio em alguns locais da parcela, com o efeito negativo que isso poderá ter na contínua melhoria da pastagem e na sua perenidade para além da óbvia redução de eficiência no aproveitamento de recursos por parte da exploração.
- Uma das razões para os resultados positivos observados no nível produtivo deve prender-se com a dominância de gramíneas (Potes, 2010) que, em média, representa quase metade (0,47) do material vegetal seco de cada área amostrada. Apesar do valor das gramíneas ser um resultado interessante, o valor médio de 0,28 da "Proporção de Outras na MS total" (fracção marcadamente dominada por

espécies da família *Compositae*) é ainda algo elevado para uma pastagem melhorada - valor, todavia, menor do que o documentado em Serrano *et al.* (2010b) num ensaio semelhante (média de 0,38).

A "Proporção de Leguminosas na MS total" também apresenta resultados um pouco insatisfatórios - em média, apenas 9% (= 0,09) do material vegetal recolhido em cada local seco corresponde a leguminosas. No entanto, a sua dispersão é bastante considerável (em média, em cada amostra, existiam três espécies de leguminosas). Este facto sugere que a baixa "Proporção de Leguminosas na MS total" estará relacionada com a preferência dos animais que pastorearam a pastagem por espécies desta família pois, em regra, são mais digestíveis (Muslera Pardo e Ratera Garcia, 1991).

- Outro dos aspectos a reter está relacionado com a "eficácia" demonstrada pela(s) mistura(s) semeada(s) no melhoramento da pastagem. Com efeito, em média, em cada local, 79% do peso das leguminosas provinha de espécies que se encontravam na mistura. Para reforçar a ideia, em metade dos casos, este peso era de 99% (já que mediana da variável "Proporção de espécies não semeadas no total de leguminosas" igual a 0,1).
- Por esta análise também ficou patente a importância das leguminosas *Trifolium subterraneum* (TS), *Medicago polymorpha* e *Trifolium vesiculosum* (as três espécies mais abundantes desta família na pastagem - anexo IV) para a sua quantidade total. Estas, juntas, em média, representavam 71% das leguminosas de cada local de amostragem. A corroborar esta análise o facto da mediana do conjunto de dados ser de 0,96 (devido ao mínimo da variável ser 0, a média do conjunto de dados é bastante penalizada o que a leva a afastar-se do valor da mediana).
- Um dos resultados menos positivos revelados por esta análise foi o teor de proteína bruta da pastagem ter ficado abaixo do esperado já que, em média, foi de 73 g/kg MS - valor baixo para Maio (altura da colheita do material vegetal) para estas pastagens quando comparado com o valor de 110 g/kg MS referido por Efe Serrano (2006), com os resultados dos ensaios de Carneiro e Barradas (2008) e mesmo com o patamar mínimo de proteína total na matéria seca necessário para alimentação de ruminantes estabelecido pelos últimos (160 g/kg MS). No entanto, este baixo valor pode estar relacionado com as questões já referidas de preferência dos animais pelas leguminosas e do tempo que mediou entre colheita e secagem do material vegetal na estufa (pode ter levado à degradação de parte da proteína). Para além disso, a menor precipitação ocorrida, neste ano, em Maio, também poderá ter levado a um avanço no ciclo, ao pasto ficar seco mais cedo e, conseqüentemente, à mais rápida perda de valor proteico no campo (Carranca *et al.*, 1999).
- Já o valor da fibra, nomeadamente de ADF, foi, em média, mais alto (432 g/kg MS) do que o referido por Efe Serrano (2006) (320 g/kg MS). A elevada presença de gramíneas aliada à baixa precipitação e à mais rápida perda de valor da pastagem podem explicar este valor mais elevado.
- No que respeita às análises de solo, os resultados são os previsíveis para solos no Alentejo e vão ao encontro do documentado em Serrano *et al.* (2014c) num ensaio semelhante na mesma região. Apenas os valores máximos verificados tanto para o pH (8,4) como para o fósforo extraível (404 mg/kg - pode estar associado a uma recolha, não notada na altura, de dejectos de animal) podem causar

alguma surpresa. Ainda de realçar, apesar de não termos dados anteriores que o fundamentem, o, já algo notado, efeito da pastagem melhorada no incremento do teor de matéria orgânica do solo (média de 3,3%).

- Por fim, os valores de energia net, tanto de conservação como de engorda, são baixos mas esperados tendo em conta estarmos a analisar uma pastagem de sequeiro no Alentejo (Crespo, 1995). Relativamente a ensaios diferentes mas comparáveis, tanto Jarrige (1990) como Muslera Pardo e Ratera Garcia (1991) ou Crespo (1995) documentaram valores um pouco mais altos mas semelhantes.

6.1.2 Distribuição espacial da produtividade, teor de proteína bruta e valor energético da pastagem

Na Figura 14 estão representadas as cartas da parcela referentes à distribuição espacial da "MS total", "Proteína Bruta" e "EN engorda". Ao observar as cartas, rapidamente notamos que em nenhuma delas existe qualquer padrão na distribuição. Apenas se podem identificar/delimitar algumas zonas de reduzida dimensão onde os valores das variáveis são semelhantes. Esta inexistência de padrões de distribuição só vem reforçar a ideia da enorme e contínua variação das condições existentes no Alentejo e dentro das suas parcelas; exponenciada, ainda, no caso das pastagens devido à complexa interacção do sistema Solo-Cultura-Animais (Trotter, 2014).

Analisando a carta da Matéria Seca total podemos observar, contudo, que existe uma faixa próxima da barragem e perpendicular, tanto um pouco a Norte como a Sul, à mesma onde se encontram os locais de maior produtividade. As razões para que tal se verifique podem estar ligadas ao facto de ser uma zona mais plana/menos acidentada da parcela bem como à relativa proximidade à barragem.

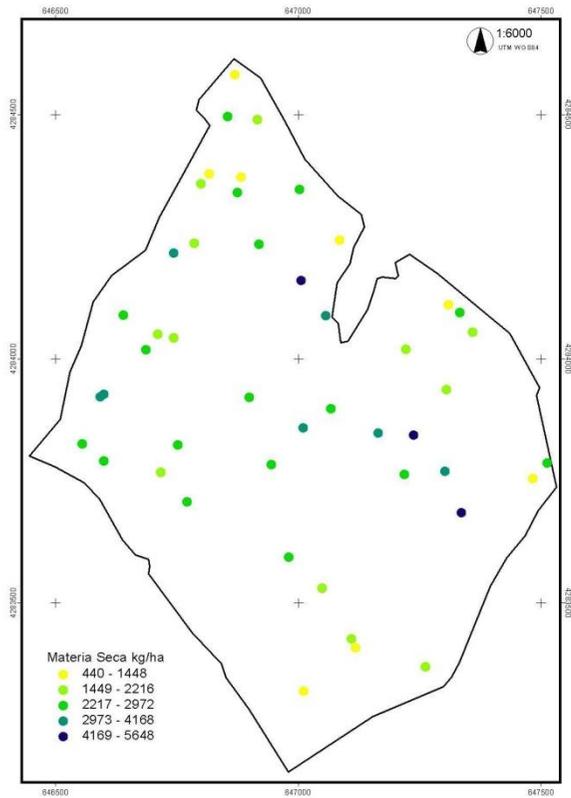
As distribuições da Proteína Bruta e da Energia Net de engorda apresentam algumas semelhanças entre si. Apesar de também não existir qualquer padrão nas suas distribuições, nota-se um predomínio dos maiores valores destas variáveis do centro da parcela para o Norte. A explicação para este facto não é intuitiva, o que vem ao encontro da referida dificuldade de interpretação da variabilidade de uma pastagem, mas pode estar relacionada com uma maior densidade do montado e com uma consequente preferência desses locais por parte dos animais.

Por fim, constata-se uma semelhança nas três cartas relacionada com os baixos valores apresentados pelos 5-6 pontos situados mais a Sul da parcela. Penso que esta evidência é explicada pela menor preferência dos animais por esses locais, devido à menor densidade de árvores mas sobretudo à distância à barragem, que pode ter conduzido a uma menor pressão de melhoramento da pastagem pelo pastoreio (situação abordada em 3.3).

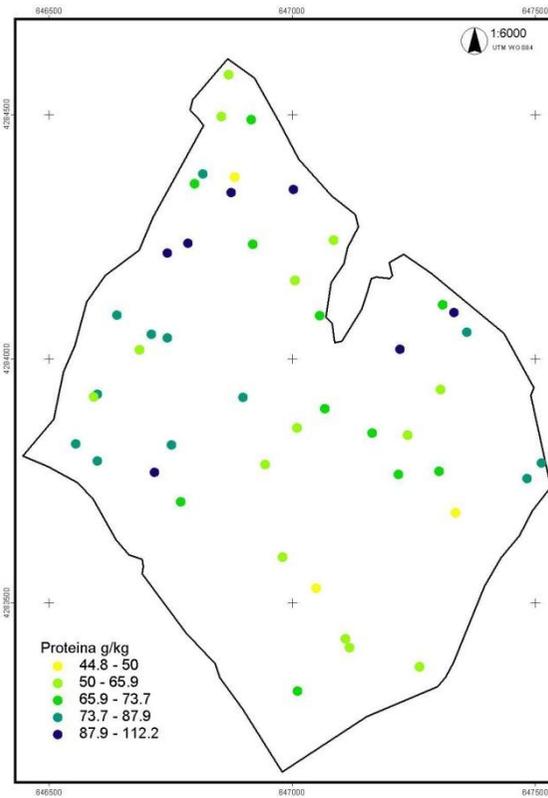
Quadro 6 - Estatística descritiva das variáveis de campo estudadas

	Matéria Seca total (kg/ha)	Proporção de Gramíneas na MS total	Proporção de Leguminosas na MS total	Proporção de Outras na MS total	Proporção de Resíduos vegetais na MS total	Nº espécies de leguminosas na amostra	Proporção de espécies de leguminosas não semeadas no total de leguminosas	Proporção das três espécies mais abundantes no total de leguminosas	Proporção TS no total de leguminosas	Proteína Bruta (g/kg de MS a 100-105°C)	NDF (g/kg de MS a 100-105°C)	ADF (g/kg de MS a 100-105°C)	ADL (g/kg de MS a 100-105°C)	EN conservação (kcal/kg MS)	EN engorda (kcal/kg MS)	pH (H ₂ O)	MO (%)	Fósforo extraível (mg/kg)	Potássio extraível (mg/kg)
Máximo	5648,00	0,88	0,40	0,83	0,32	7,00	0,96	1,00	1,00	112,18	804,55	546,03	117,50	1464,03	805,22	8,40	6,00	404,00	352,00
Mínimo	440,00	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	44,79	568,52	366,37	55,93	863,63	323,29	4,70	1,80	16,00	31,00
Média	2482,04	0,47	0,09	0,28	0,15	3,06	0,21	0,71	0,43	73,06	682,49	431,85	84,26	1212,41	591,82	6,21	3,29	68,74	102,30
Desvio Padrão	1062,44	0,22	0,11	0,17	0,07	1,96	0,30	0,36	0,42	14,24	53,75	30,89	13,19	113,89	90,04	0,95	1,00	78,95	53,54
Variância	1128781,13	0,05	0,01	0,03	0,01	3,84	0,09	0,13	0,17	202,82	2888,70	953,99	173,94	12970,14	8106,41	0,90	0,99	6233,15	2866,39
CV (%)	42,81	46,59	119,65	61,31	46,77	63,99	148,32	51,06	95,59	19,49	7,88	7,15	15,65	9,39	15,21	15,26	30,28	114,85	52,34
1º Quartil	1812,00	0,32	0,02	0,16	0,10	2,00	0,00	0,46	0,00	63,80	657,81	411,20	76,64	1146,57	537,91	5,60	2,50	30,50	70,00
Mediana	2356,00	0,47	0,05	0,28	0,14	3,00	0,01	0,96	0,40	70,74	678,64	432,04	83,10	1215,26	592,33	5,90	3,20	44,00	93,00
3º Quartil	2824,00	0,63	0,12	0,37	0,19	4,50	0,35	1,00	0,89	79,35	712,77	449,83	91,58	1284,31	650,76	6,30	3,85	76,50	115,00
Amplitude	5208,00	0,86	0,40	0,82	0,29	7,00	0,96	1,00	1,00	67,40	236,04	179,66	61,57	600,41	481,92	3,70	4,20	388,00	321,00

Herdade de Pão Mole - Matéria seca kg/ha



Herdade de Pão Mole - Proteína g/kg



Herdade de Pão Mole - EN Engorda kcal/kg

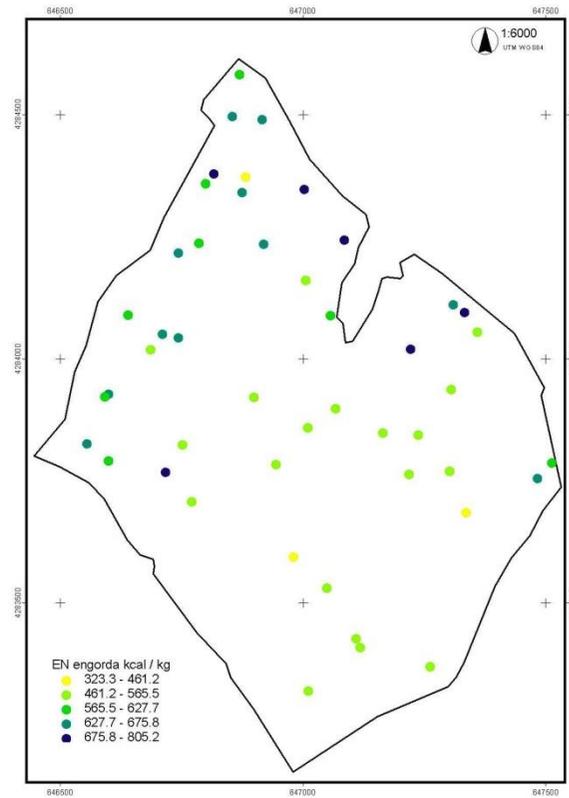


Figura 14 - Cartas da Matéria Seca total, Proteína Bruta e Energia Net de engorda da parcela

6.2 Índices de vegetação

6.2.1 Cartas da parcela referentes à reflectância nas bandas do visível e do NIR

Na Figura 15, apresentam-se as cartas da parcela referentes à reflectância da sua superfície nas bandas do infra-vermelho próximo (NIR) e do visível. Como dito anteriormente, são estes valores detectados que constituem a base para o cálculo dos vários índices de vegetação.

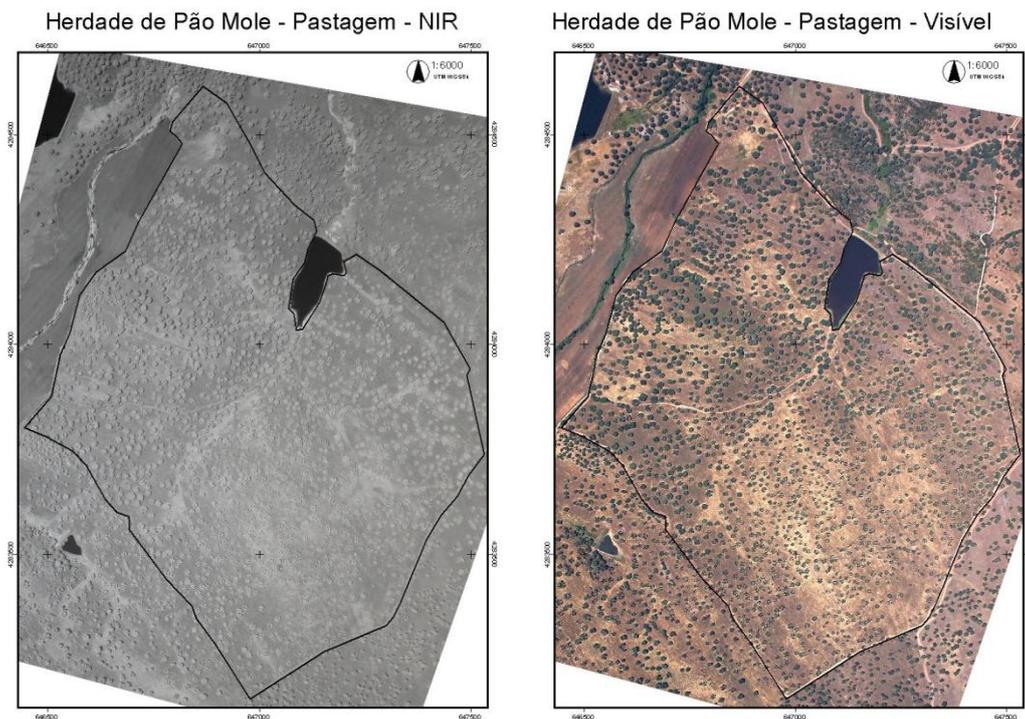


Figura 15 - Cartas da parcela em estudo relativas à reflectância no infra vermelho próximo (NIR) e no visível

6.2.2 Estatística descritiva

À semelhança do realizado para os dados de campo, também os índices de vegetação calculados foram sujeitos a uma análise estatística descritiva. De igual maneira, esta análise sumária realizada sobre os valores dos índices (que se encontram no anexo IX) permite constatar a variabilidade (ou homogeneidade) apresentada por eles ao longo da parcela. Serve, igualmente, em parte, para demonstrar se a amostragem realizada foi suficientemente abrangente para capturar variabilidade ou não.

Após análise dos resultados, expressos no Quadro 7, podemos retirar as seguintes conclusões:

- Em geral, a variabilidade espacial apresentada pelos índices de vegetação é mais baixa que a revelada pelas variáveis de campo, não deixando, contudo, de ser significativa;
- Dos 17 índices de vegetação calculados, 12 apresentaram coeficientes de variação superiores a 10%. Apenas os índices PVR, IPVI, RPER, GPER e BPER não ultrapassaram esse patamar mínimo de variação significativa anteriormente estabelecido;
- Em oposição, os índices SGB e NDGBI mostraram uma variabilidade muitíssimo elevada com CV de 310% e 387%, respectivamente.
- O NDRGI foi o terceiro índice que apresentou maior variação (CV de 90%);
- Os índices PPR, RB, I, NIRPER, PCD e NDVIg revelaram coeficientes de variação razoáveis, compreendidos no intervalo de 10-30%;
- Os restantes três índices (NDVI, SAVI e DVI) apresentaram uma variação significativa e muito semelhante, entre 34-35%;
- Analisando em maior pormenor os resultados observados para o NDVI - valor mínimo de 0,09, valor máximo de 0,49 e média e mediana muito idênticas (0,28 e 0,27) - podemos dizer que são os esperados, para Maio, numa pastagem de sequeiro no Alentejo. Como se sabe, os valores de NDVI podem variar entre -1 e 1, sendo que valores negativos não estão associados a superfícies com vegetação (mas a água, por exemplo) (Jackson e Huete, 1991). Em geral, quanto maior for o seu valor, maior a cobertura da superfície por vegetação (sendo que o valor máximo 1 só ocorre se a superfície estiver completamente coberta com vegetação fotossinteticamente activa, como no caso das florestas tropicais). Assim, neste caso, valores mais próximos de 0 devem corresponder a zonas de solo mais descoberto e, por isso, provavelmente, a locais de menor produção de pastagem enquanto que os valores mais elevados devem poder relacionar-se com locais de maior produção e/ou corresponder a zonas tendencialmente menos secas.

Quadro 7 - Estatística descritiva dos índices de vegetação calculados para os vários locais de amostragem

	NDVI	PCD	SAVI	PVR	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVlg	NDRGI	NDGBI	I	RPER	GPER	BPER	NIRPER
Máximo	0,49	2,95	0,74	1,06	1,40	0,75	115,64	31,89	1,59	0,51	0,15	0,17	317,02	0,41	0,35	0,38	0,96
Mínimo	0,09	1,20	0,13	0,75	0,78	0,55	20,65	-14,89	0,82	0,13	-0,03	-0,13	164,89	0,31	0,28	0,25	0,45
Média	0,28	1,82	0,42	0,90	1,04	0,64	60,66	3,15	1,16	0,33	0,05	0,02	221,59	0,36	0,32	0,31	0,65
Desvio Padrão	0,10	0,39	0,15	0,09	0,14	0,05	20,53	9,78	0,18	0,09	0,05	0,07	35,54	0,02	0,02	0,03	0,12
Variância	0,01	0,15	0,02	0,01	0,02	0,00	421,41	95,74	0,03	0,01	0,00	0,00	1262,94	0,00	0,00	0,00	0,01
CV (%)	35,12	21,43	35,11	9,55	13,23	7,63	33,84	310,19	15,18	28,75	90,32	387,30	16,04	6,84	5,75	9,22	18,60
1º Quartil	0,21	1,54	0,32	0,83	0,96	0,61	47,40	-3,00	1,04	0,26	0,02	-0,02	196,19	0,34	0,31	0,30	0,56
Mediana	0,27	1,76	0,41	0,91	1,06	0,64	62,88	3,59	1,13	0,33	0,05	0,03	214,12	0,36	0,33	0,31	0,66
3º Quartil	0,35	2,08	0,52	0,96	1,13	0,67	72,68	8,36	1,29	0,37	0,09	0,06	247,91	0,38	0,34	0,33	0,71
Amplitude	0,40	1,75	0,60	0,32	0,63	0,20	94,99	46,78	0,76	0,38	0,18	0,29	152,14	0,11	0,07	0,13	0,51

6.2.2 Distribuição espacial

Na Figura 16 estão representadas quatro cartas referentes à variação espacial dos valores de quatro índices de vegetação calculados para os locais de amostragem na parcela. Os resultados apresentados desta forma permitem uma melhor e mais fácil visualização/percepção da variabilidade espacial de cada índice. Para além disso, torna rápida a comparação entre eles, por análise das semelhanças ou diferenças nos padrões de distribuição dos seus valores. No entanto, estas cartas por si só não têm grande significado já que não cedem quaisquer dados ou informação úteis para o agricultor (Trotter *et al.*, 2014) - daí só serem apresentadas quatro, encontrando-se as restantes no anexo X.

A partir da observação da Figura 16 podemos constatar que, à semelhança do observado para as variáveis de campo, também nos índices de vegetação apresentados não há qualquer padrão de distribuição dos seus valores. Deste modo, a única relevância desta análise prende-se com a observação de semelhanças e diferenças entre os índices. NDVI e NIRPER apresentam distribuições bastante semelhantes o que pode indicar, por análise das equações de cálculo, uma emissão reduzida de radiação, por parte da superfície da parcela, nas bandas do verde (G) e do azul (B). Já o índice I (intensidade) apresenta uma distribuição oposta aos primeiros - locais de maior/menor valor para I são, em regra, locais de menor/menor valor para os primeiros.

Por outro lado, o índice NDRGI apresenta uma distribuição de valores completamente diferente dos outros três. Este facto tem a sua importância já que nos confirma a utilização de diferentes tipos de índices o que, na teoria, permite aumentar a probabilidade de aparecimento de resultados relevantes aquando da realização da análise de correlação entre os vários índices calculados e as diferentes variáveis de campo analisadas.

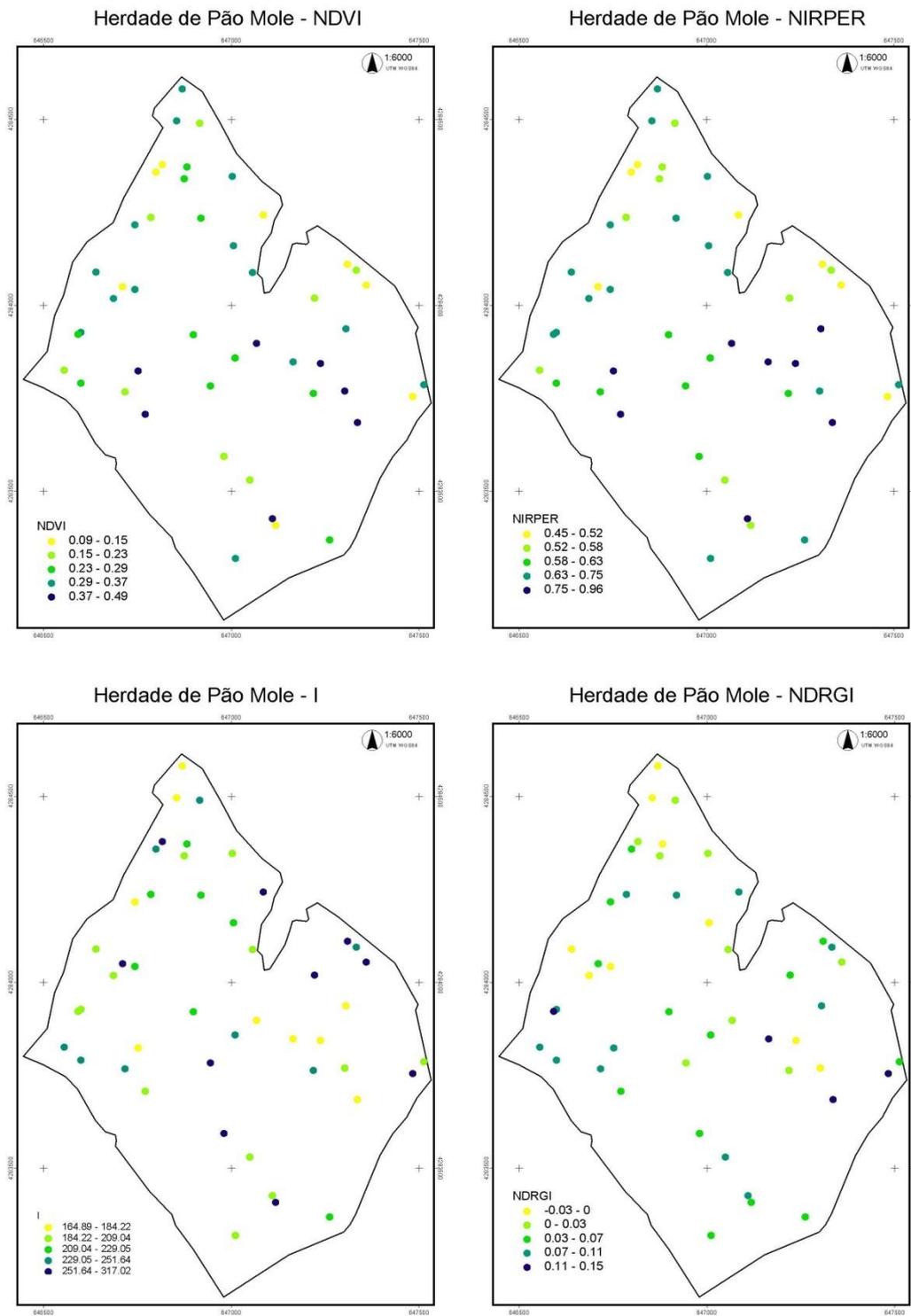


Figura 16 - Cartas da parcela em estudo referentes aos índices de vegetação NDVI, NIRPER, I e NDRGI

6.3 Correlação e modelação

6.3.1 Análises de correlação

Uma análise de correlação, entre dois conjuntos de dados (ou entre duas variáveis), permite aferir acerca da relação entre esses dois conjuntos. O coeficiente de correlação, r , mede o grau/intensidade dessa relação. O valor deste coeficiente pode variar continuamente entre -1 e 1 consoante as duas variáveis estejam bastante e positivamente correlacionadas ($r \sim 1$), bastante mas negativamente/inversamente correlacionadas ($r \sim -1$) ou em nada relacionadas ($r \sim 0$).

Os Quadros 8, 9 e 10 mostram as correlações entre todas as variáveis estudadas neste trabalho. Através da interpretação desses valores, poderemos constatar quais as variáveis que apresentam maior relação entre si, dando especial enfoque aos resultados entre as variáveis de maior interesse para este estudo "Matéria Seca total", "Proteína Bruta" e "Energias Net" e as demais (2º objectivo desta dissertação). O grau de relação entre os índices de vegetação calculados e estas três variáveis também nos elucidará acerca da capacidade dos primeiros em modelar a produtividade e qualidade de uma pastagem melhorada - 3º objectivo deste trabalho.

Ao avaliar os resultados da análise de correlação entre as variáveis de campo, Quadro 8, observa-se que:

- A produtividade (Matéria Seca total) apresenta uma correlação positiva considerável com a "Proporção de Gramíneas na MS total" ($r = 0,56$) - facto que não surpreende e que já foi abordado nesta dissertação - e, pelas mesmas razões, negativa com as fracções de Outras e de Resíduos vegetais. Apesar de não existir qualquer relação com o teor de proteína (sugere alguma independência entre produtividade e teor proteico), de destacar também a não muito forte mas positiva relação - $r = 0,43$ - entre produtividade e proporção de *Trifolium subterraneum*, *Medicago polymorpha* e *Trifolium resupinatum*. Podemos concluir que para além do efeito melhorador no solo e na qualidade da pastagem, estas leguminosas também contribuem, em certa medida, para os locais de maior nível produtivo.
- O teor proteico da pastagem apresenta uma forte correlação com a presença de leguminosas ($r = 0,71$). Este valor era mais que esperado e apenas confere credibilidade às análises realizadas. Os componentes da fibra (sobretudo, NDF e ADF) apresentam uma considerável correlação negativa com o teor de proteína bruta o que é justificado pelo facto do alto valor dos primeiros estar associado à presença de gramíneas ($r = 0,71$ para a relação NDF - "Proporção de Gramíneas na MS total"). Outra das correlações positivas que o teor de proteína bruta tem é com as Energias Net ($r = 0,64$ e $r = 0,65$). A mesma era expectável já que o teor de proteína entrou nos cálculos destes valores. No entanto, esta correlação não pode ser desvalorizada já que, para além dos resultados de Cosentino *et al.* (2013) corroborarem esta ideia, também se verifica uma relação positiva entre a "Proporção de Leguminosas na MS total" e as energias net ($r \approx 0,5$). O facto de não existir correlação entre as energias e a presença de gramíneas é que surpreende um pouco mas, o mesmo, deve, eventualmente, estar relacionado com

uma baixa qualidade das espécies desta família presentes em alguns dos locais de amostragem na altura das recolhas (como *Vulpia* spp., *Aegilops* spp., *Hordeum* spp, *Bromus* spp., *Poa* spp., *Avena* spp. entre outras). Já a relação negativa entre energia e MS total era previsível pois quanto maior biomassa, maior proporção de caules e de outras fracções com menor valor energético.

- O valor de correlação mais alto verificou-se entre Energia Net de engorda e ADF, $r = -0,98$. O mesmo era expectável já que, à semelhança do teor de PB, também o ADF entrou no cálculo dos valores de energia.
- A "Proporção de Outras na MS total" apresenta correlações negativas com a proporção de gramíneas e leguminosas. Esta relação é bastante marcada no caso das gramíneas ($r = -0,80$) o que vem vincar as dificuldades e o tempo que demora a alterar e melhorar a composição florística de uma pastagem. Estas outras famílias, apesar de apresentarem baixo valor para a pastagem (correlacionam-se negativamente tanto com o teor de proteína bruta como com o de energia e de Matéria Seca total) estão muito bem adaptadas ao ambiente, dificultando a sua substituição por espécies com maior valor pratense.
- Já as relações com e entre as variáveis de solo não apresentaram correlações muito significativas. "Fósforo extraível" com "pH" e "MO" tiveram correlações positivas algo consideráveis ($r = 0,45$ e $r = 0,48$); de resto, a destacar apenas umas correlações algo fracas entre "Nº de espécies de leguminosas" e "pH" e "MO" bem como de "pH" e "Proporção de espécies de leguminosas não semeadas".
Ao contrário deste estudo, Serrano *et al.* (2013) obtiveram correlações bastante significativas para e entre estes parâmetros de solo num ensaio em condições muito semelhantes mas numa parcela consideravelmente mais pequena (apenas de 6 hectares).

O Quadro 9 mostra-nos os resultados da análise de correlação entre os vários índices de vegetação calculados. Como esperado, existem muitas e bastante fortes correlações, tanto positivas como negativas. Esta situação está directamente relacionada com o facto de os índices serem calculados com base em apenas quatro bandas (a do NIR e as três do visível, R, G e B). Apesar desta análise, devido à sua redundância, ter pouco interesse, pode ajudar a perceber alguns resultados de correlações entre índices de vegetação e variáveis de campo (Quadro 10).

Quadro 8 - Análise de correlação entre as variáveis de campo

	Matéria Seca total (kg/ha)	Proporção de Gramíneas na MS total	Proporção de Leguminosas na MS total	Proporção de Outras na MS total	Proporção de Resíduos vegetais na MS total	Nº espécies de leguminosas na amostra	Proporção de espécies de leguminosas não semeadas no total de leguminosas	Proporção das três espécies mais abundantes no total de leguminosas	Proporção TS no total de leguminosas	Proteína Bruta (g/kg de MS a 100-105°C)	NDF (g/kg de MS a 100-105°C)	ADF (g/kg de MS a 100-105°C)	ADL (g/kg de MS a 100-105°C)	EN conservação (kcal/kg MS)	EN engorda (kcal/kg MS)	pH (H ₂ O)	MO (%)	Fósforo extraível (mg/kg)	Potássio extraível (mg/kg)	
Matéria Seca total (kg/ha)	1,00																			
Proporção de Gramíneas na MS total	0,56	1,00																		
Proporção de Leguminosas na MS total	-0,03	-0,31	1,00																	
Proporção de Outras na MS total	-0,52	-0,80	-0,26	1,00																
Proporção de Resíduos vegetais na MS total	-0,44	-0,69	0,05	0,44	1,00															
Nº espécies de leguminosas na amostra	-0,12	0,02	0,43	-0,22	-0,21	1,00														
Proporção de espécies de leguminosas não semeadas no total de leguminosas	-0,18	0,02	0,09	-0,06	-0,05	0,66	1,00													
Proporção das três espécies mais abundantes no total de leguminosas	0,43	0,30	0,06	-0,38	-0,11	-0,44	-0,78	1,00												
Proporção TS no total de leguminosas	0,39	0,18	0,04	-0,26	-0,01	-0,32	-0,54	0,66	1,00											
Proteína Bruta (g/kg de MS a 100-105°C)	-0,07	-0,17	0,71	-0,32	0,21	0,43	0,00	0,20	0,23	1,00										
NDF (g/kg de MS a 100-105°C)	0,39	0,71	-0,48	-0,40	-0,51	-0,21	0,11	0,04	-0,08	-0,43	1,00									
ADF (g/kg de MS a 100-105°C)	0,15	-0,04	-0,42	0,36	-0,13	-0,29	0,00	-0,15	-0,11	-0,56	0,49	1,00								
ADL (g/kg de MS a 100-105°C)	-0,29	-0,43	-0,08	0,47	0,33	-0,10	0,01	-0,11	0,01	0,02	-0,05	0,37	1,00							
EN conservação (kcal/kg MS)	-0,22	-0,04	0,49	-0,31	0,12	0,36	0,00	0,11	0,09	0,64	-0,52	-0,97	-0,29	1,00						
EN engorda (kcal/kg MS)	-0,21	-0,07	0,50	-0,29	0,15	0,34	-0,01	0,11	0,10	0,65	-0,56	-0,98	-0,30	1,00	1,00					
pH (H ₂ O)	0,05	0,05	0,11	-0,03	-0,25	0,29	0,33	-0,16	-0,25	0,10	-0,03	-0,09	-0,07	0,09	0,08	1,00				
MO (%)	-0,11	0,03	0,06	-0,07	-0,02	0,29	0,18	-0,20	-0,15	0,02	-0,09	-0,19	-0,38	0,13	0,15	0,19	1,00			
Fósforo extraível (mg/kg)	-0,11	0,02	0,09	-0,03	-0,13	0,19	0,13	-0,11	-0,11	0,07	-0,10	-0,20	-0,25	0,19	0,20	0,45	0,48	1,00		
Potássio extraível (mg/kg)	0,01	0,16	-0,19	-0,03	-0,14	-0,04	-0,08	0,15	-0,12	-0,11	0,03	-0,09	-0,17	0,07	0,06	-0,10	0,18	0,34	1,00	

Quadro 9 - Análise de correlação entre os índices de vegetação calculados

	NDVI	PCD	SAVI	PVR	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIg	NDRGI	NDGBI	I	RPER	GPER	BPER	NIRPER
NDVI	1,00																
PCD	0,99	1,00															
SAVI	1,00	0,99	1,00														
PVR	0,24	0,23	0,24	1,00													
PPR	-0,59	-0,59	-0,59	0,12	1,00												
IPVI	1,00	0,99	1,00	0,24	-0,59	1,00											
DVI	0,96	0,95	0,96	0,16	-0,48	0,96	1,00										
SGB	-0,59	-0,58	-0,59	0,12	0,99	-0,59	-0,47	1,00									
RB	-0,66	-0,65	-0,66	-0,50	0,79	-0,66	-0,51	0,79	1,00								
NDVIg	0,90	0,89	0,90	-0,20	-0,66	0,90	0,89	-0,65	-0,44	1,00							
NDRGI	-0,23	-0,22	-0,23	-1,00	-0,13	-0,23	-0,15	-0,13	0,49	0,21	1,00						
NDGBI	-0,59	-0,59	-0,59	0,13	1,00	-0,59	-0,48	0,99	0,78	-0,66	-0,15	1,00					
I	-0,84	-0,82	-0,84	-0,07	0,63	-0,84	-0,69	0,66	0,58	-0,82	0,06	0,62	1,00				
RPER	-0,56	-0,55	-0,56	-0,80	0,49	-0,56	-0,42	0,48	0,91	-0,21	0,80	0,48	0,42	1,00			
GPER	-0,29	-0,29	-0,29	0,69	0,80	-0,29	-0,25	0,79	0,27	-0,60	-0,70	0,81	0,41	-0,13	1,00		
BPER	0,66	0,66	0,66	0,24	-0,93	0,66	0,52	-0,92	-0,95	0,56	-0,23	-0,93	-0,63	-0,77	-0,53	1,00	
NIRPER	0,94	0,95	0,94	-0,04	-0,51	0,94	0,95	-0,50	-0,41	0,96	0,06	-0,51	-0,80	-0,26	-0,40	0,48	1,00

Das três análises de correlação, a apresentada seguidamente no Quadro 10 é a mais relevante para esta dissertação já que relaciona os dados recolhidos no campo com os índices de vegetação calculados para esses mesmos locais. Por outras palavras, esta análise avalia a capacidade dos índices de vegetação em explicar as variáveis de campo. Em casos de correlações significativas, pode-se supor que esse índice terá a capacidade de, em certa medida, explicar e mensurar a variação dessa variável, podendo o seu cálculo substituir as habituais análises de campo (no que toca a essa variável).

Basicamente, esta terceira análise de correlação permitirá, para este trabalho e dados, avaliar a possibilidade de aplicação/utilização de técnicas de agricultura de precisão em pastagens, seja por gestão diferenciada seja, apenas, por utilização da informação fornecida.

A partir da análise do Quadro 10, podemos retirar as seguintes conclusões:

- Em primeiro lugar, as correlações dos IV com as variáveis de campo relacionadas com o solo (pH, MO, Fósforo e Potássio extraíveis) foram muito fracas/nulas. Desta maneira, segundo estes resultados, tanto análises de solo (apesar de pouco frequentes após a instalação de uma pastagem) por DR como aplicações diferenciadas de fósforo (com base na identificação da variação espacial deste nutriente no solo por DR) não são possíveis de realizar com sucesso. Esta incapacidade pode estar relacionada com o efeito da pastagem/vegetação no sensor; melhores resultados já foram obtidos em situações com o solo nu.

Contudo, tanto Zerger *et al.* (2011) como Trotter (2014) conseguiram obter resultados bastante satisfatórios na estimativa do fósforo do solo por modelos que continham como variável independente o índice de vegetação NDVI.

- No respeitante à capacidade de correlação entre os índices e as variáveis relacionadas com a qualidade da pastagem também poucos resultados significativos há a reter. Apenas o índice DVI se correlacionou com alguma intensidade com as "Energia Net" ($r = -0,30$ e $r = -0,31$) e, ainda em menor grau, o NIRPER com as variáveis "Proteína Bruta" ($r = -0,22$) e "NDF" ($r = 0,27$).

Algo melhores foram os resultados obtidos por Ausseil *et al.* (2011) na estimativa da Energia Metabolizável e por Fava *et al.* (2009) em correlações de índices de vegetação com a concentração de azoto da pastagem.

- Uma das razões que pode estar por detrás das fracas correlações entre os IV e as variáveis de solo e relacionadas com a qualidade da pastagem prende-se com o tratamento laboratorial realizado às amostras e, em alguns casos, aos cálculos necessários para obter os valores dessas variáveis (abordado em 5.2.2). Essas análises e cálculos contribuem para um aumento do erro que pode afectar as correlações.
- Já para a variável ligada à produtividade (onde, para além de pesagem, o único tratamento é a secagem a 100-105 °C), os resultados de correlação são bastante mais relevantes. Vários índices tiveram um elevado grau de correlação com a "Matéria Seca total" (8 com valor absoluto de r acima de 0,5), dos quais se destacam o DVI ($r = 0,64$), o NDVIg ($r = 0,63$) e o NIRPER ($r = 0,63$). Podemos então

afirmar que, por análise das equações de cálculo dos IV, quanto maior a emissão de radiação por parte da superfície no espectro do infra-vermelho próximo (NIR) e menor na zona do visível, maior será a produção de MS. Este resultado pode parecer um pouco estranho, sobretudo a baixa reflectância relativa na banda G (green ou verde), mas o mesmo é justificado pela altura da recolha de dados, 19 e 20 de Maio e com o material vegetal já um pouco seco; tal como abordado em 3.3, locais menos pastoreados, ou seja, com maior quantidade de biomassa, têm tendência a manterem-se verdes durante menos tempo.

Estas correlações significativas obtidas vêm no seguimento das já alcançadas por Edirisinghe *et al.* (2012), Porter *et al.* (2014) entre outros e que demonstram o potencial de técnicas de DR na estimativa da produtividade da pastagem com os benefícios, já atrás abordados, que isso pode trazer na gestão e no fundamentar da tomada de decisão por parte do produtor.

- Por fim, pode-se dizer que, apesar de não muito elevadas, existiram algumas correlações entre os IV e as diversas famílias e espécies observadas e separadas. Os melhores resultados foram alcançados na identificação da "Proporção de Gramíneas na MS total" (8 índices a correlacionarem-se com esta variável a valores absolutos de r entre 0,29 e 0,33), da "Proporção de *Trifolium subterraneum*" (correlação com o índice I_1 foi de -0,41) e da "Proporção das três espécies de leguminosas mais abundantes" (7 índices com valor absoluto de r entre 0,29 e 0,33). Apesar dos resultados não serem tão significativos como os obtidos por Serrano *et al.* (2010b), que correlacionou os diferentes grupos/famílias com a condutividade eléctrica aparente do solo, demonstram, igualmente, a existência de um potencial dos IV em identificar e permitir o mapeamento de famílias, ou mesmo de espécies como demonstrado por Schmidlein e Sassin (2004).

Nas Figuras 17, 18, 19 e 20 encontram-se os gráficos que mostram as regressões lineares simples entre as variáveis, sejam os índices ou as de campo, que melhor se correlacionaram, neste estudo, com a "Matéria Seca total", a "Proteína Bruta" e a "Energia Net de engorda".

Quadro 10 - Análise de correlação entre as variáveis de campo e os índices de vegetação calculados

	NDVI	PCD	SAVI	PVR	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIg	NDRGI	NDGBI	I	RPER	GPER	BPER	NIRPER
Matéria Seca total (kg/ha)	0,61	0,60	0,61	-0,02	-0,35	0,61	0,64	-0,35	-0,29	0,63	0,04	-0,35	-0,51	-0,18	-0,27	0,33	0,63
Proporção de Gramíneas na MS total	0,29	0,29	0,29	-0,08	-0,19	0,29	0,30	-0,20	-0,11	0,33	0,09	-0,18	-0,32	-0,03	-0,18	0,14	0,32
Proporção de Leguminosas na MS total	-0,15	-0,18	-0,15	-0,13	0,00	-0,15	-0,18	-0,01	0,06	-0,10	0,12	0,00	0,03	0,10	-0,07	-0,04	-0,16
Proporção de Outras na MS total	-0,13	-0,12	-0,13	0,20	0,19	-0,13	-0,12	0,19	0,04	-0,23	-0,20	0,19	0,25	-0,07	0,25	-0,10	-0,17
Proporção de Resíduos vegetais na MS total	-0,35	-0,32	-0,35	-0,04	0,15	-0,35	-0,35	0,16	0,14	-0,33	0,03	0,12	0,35	0,10	0,07	-0,13	-0,35
Nº espécies de leguminosas na amostra	-0,09	-0,07	-0,09	0,03	-0,06	-0,09	-0,09	-0,06	-0,09	-0,11	-0,04	-0,06	0,10	-0,08	-0,01	0,07	-0,11
Proporção de espécies de leguminosas não semeadas no total de leguminosas	-0,16	-0,14	-0,16	-0,22	0,13	-0,16	-0,13	0,14	0,24	-0,07	0,21	0,11	0,16	0,24	-0,05	-0,18	-0,08
Proporção das três espécies mais abundantes no total de leguminosas	0,36	0,32	0,36	0,17	-0,05	0,36	0,35	-0,05	-0,15	0,29	-0,17	-0,04	-0,36	-0,18	0,07	0,10	0,31
Proporção TS no total de leguminosas	0,33	0,30	0,33	0,20	-0,24	0,33	0,24	-0,23	-0,33	0,25	-0,19	-0,24	-0,41	-0,31	-0,06	0,30	0,24
Proteína Bruta (g/kg de MS a 100-105°C)	-0,16	-0,19	-0,16	-0,09	-0,10	-0,16	-0,23	-0,10	-0,05	-0,13	0,07	-0,11	0,05	-0,01	-0,12	0,09	-0,22
NDF (g/kg de MS a 100-105°C)	0,25	0,24	0,25	0,03	-0,05	0,25	0,28	-0,05	-0,06	0,24	-0,03	-0,05	-0,22	-0,05	-0,02	0,06	0,27
ADF (g/kg de MS a 100-105°C)	0,21	0,21	0,21	0,14	0,02	0,21	0,26	0,06	-0,07	0,14	-0,14	0,02	-0,03	-0,12	0,10	0,04	0,20
ADL (g/kg de MS a 100-105°C)	-0,06	-0,06	-0,06	0,12	0,09	-0,06	-0,08	0,10	-0,01	-0,12	-0,12	0,08	0,08	-0,07	0,13	-0,03	-0,10
EN conservação (kcal/kg MS)	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,02	-0,24	-0,30	-0,06	0,03	-0,20	0,09	-0,02	0,07	0,07	-0,07	-0,02	-0,26
EN engorda (kcal/kg MS)	-0,25	-0,25	-0,25	-0,10	-0,03	-0,25	-0,31	-0,06	0,04	-0,20	0,10	-0,02	0,07	0,07	-0,07	-0,02	-0,26
pH (H ₂ O)	0,11	0,08	0,11	0,10	-0,03	0,11	0,11	-0,03	-0,10	0,06	-0,10	-0,02	-0,02	-0,11	0,05	0,06	0,05
MO (%)	-0,10	-0,10	-0,10	0,02	0,06	-0,10	-0,11	0,05	0,04	-0,11	-0,02	0,07	0,04	0,02	0,06	-0,06	-0,10
Fósforo extraível (mg/kg)	-0,09	-0,09	-0,09	0,11	0,20	-0,09	-0,08	0,19	0,10	-0,14	-0,11	0,21	0,09	0,03	0,22	-0,17	-0,10
Potássio extraível (mg/kg)	-0,01	0,00	-0,01	-0,08	0,25	-0,01	0,04	0,24	0,27	0,02	0,08	0,23	0,05	0,21	0,12	-0,25	0,07

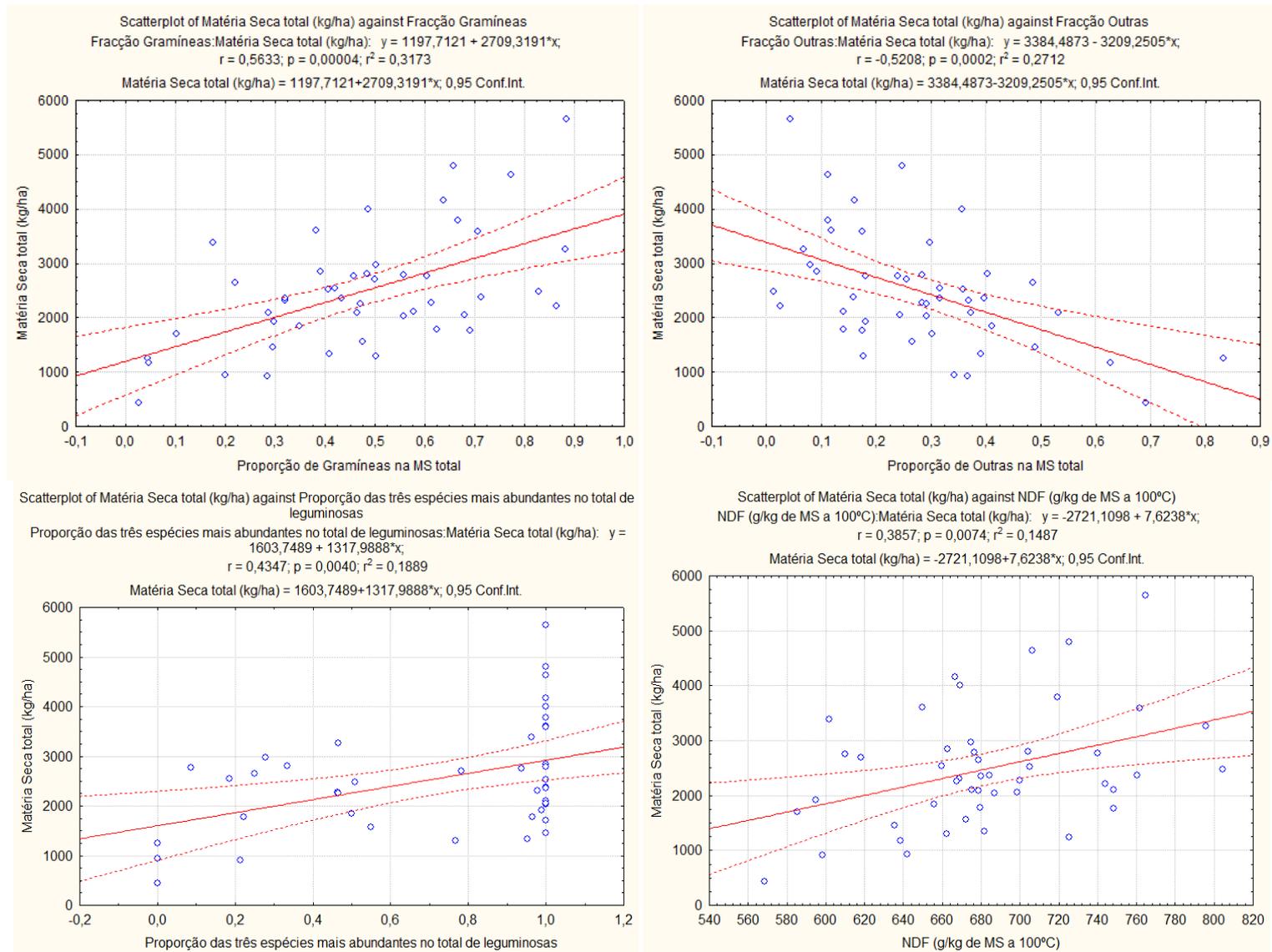


Figura 17 - Rectas de regressão linear simples entre **Matéria Seca total** e **Proporção de Gramíneas na MS total**, **Proporção de Outras na MS total**, **Proporção das três espécies mais abundantes no total de leguminosas** e **NDF**

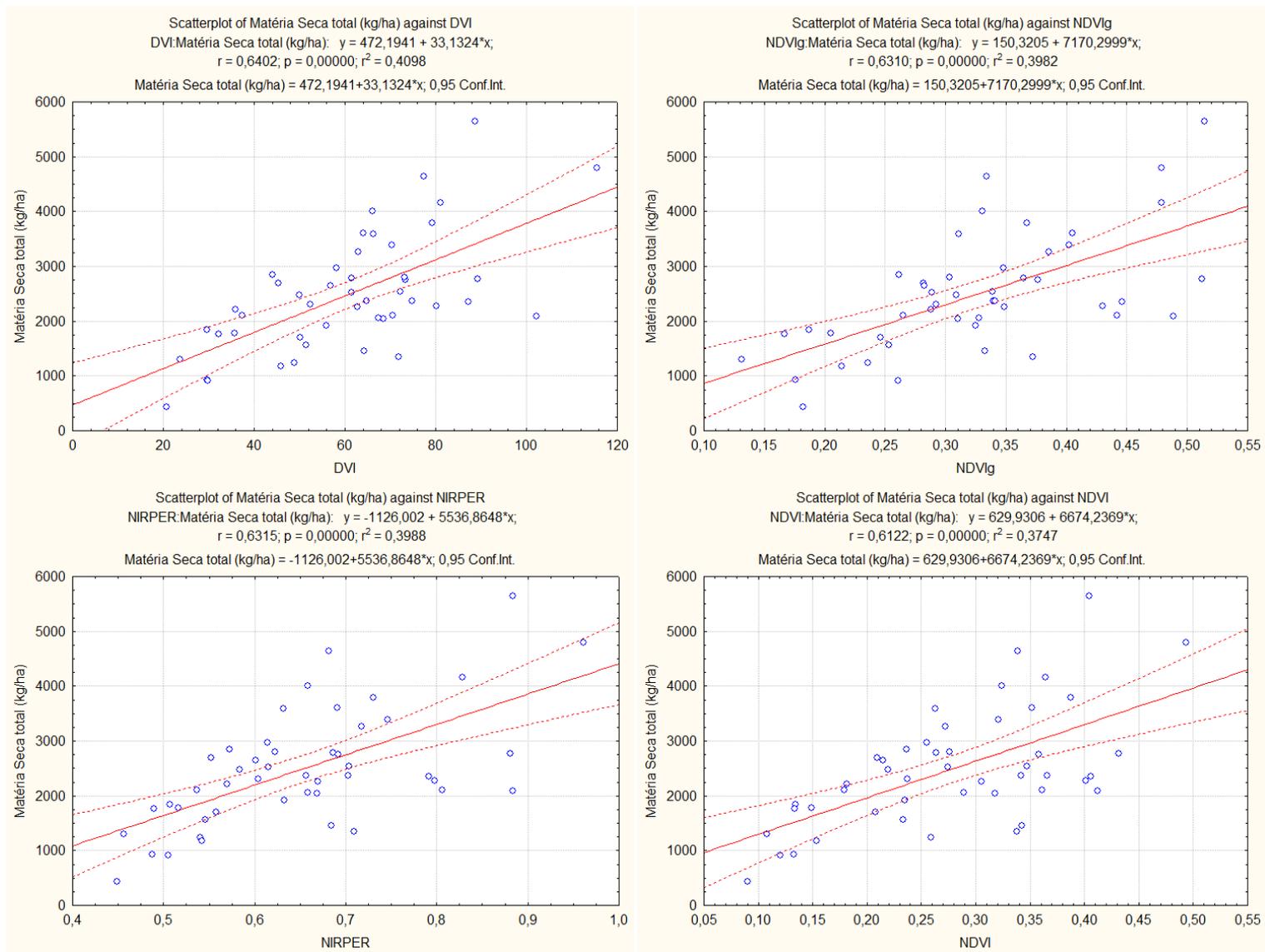


Figura 18 - Rectas de regressão linear simples entre Matéria Seca total e os índices DVI, NDVIg, NIRPER e NDVI

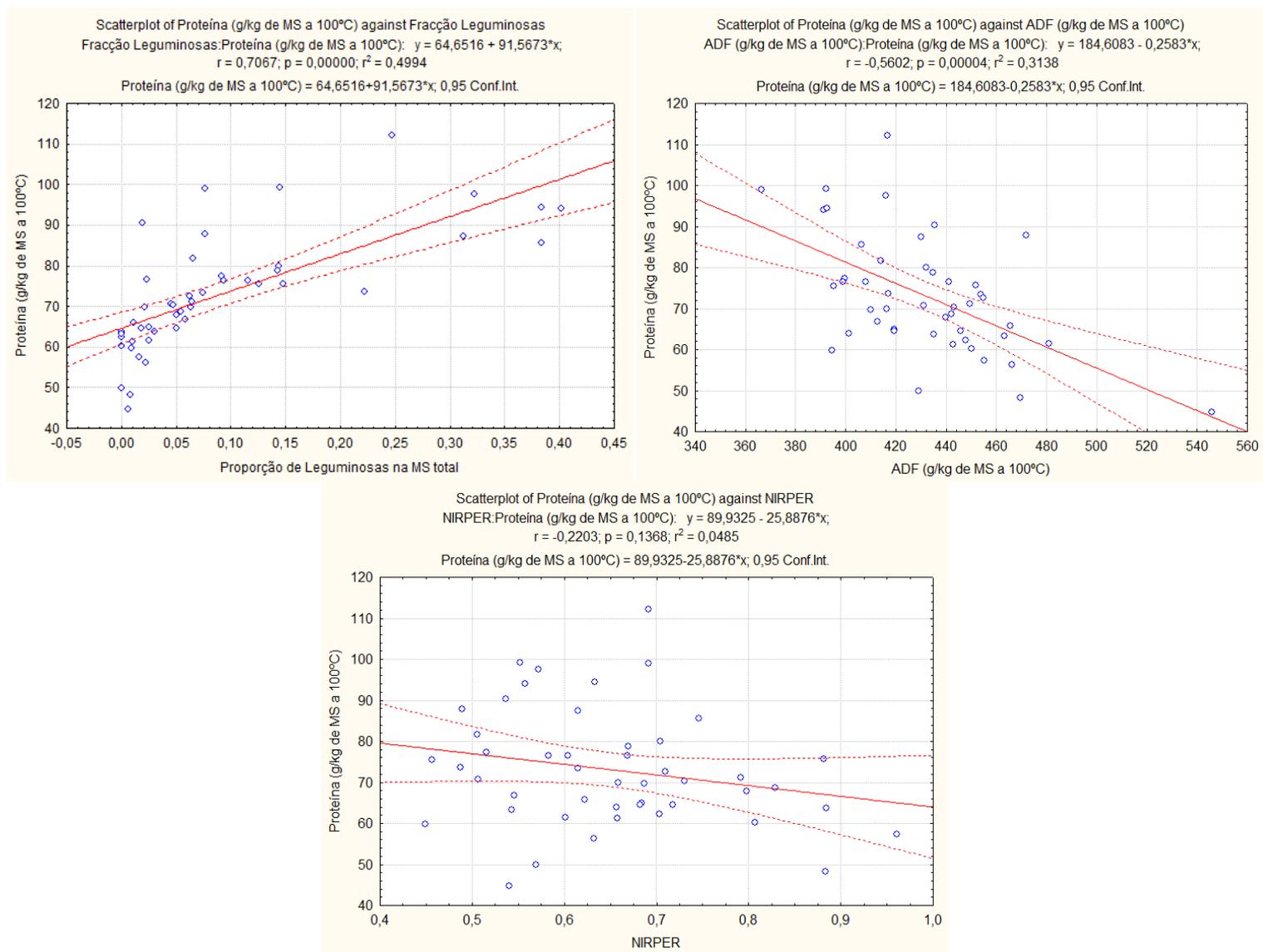


Figura 19 - Rectas de regressão linear simples entre Proteína Bruta e Proporção de Leguminosas na MS total, ADF e o índice NIRPER

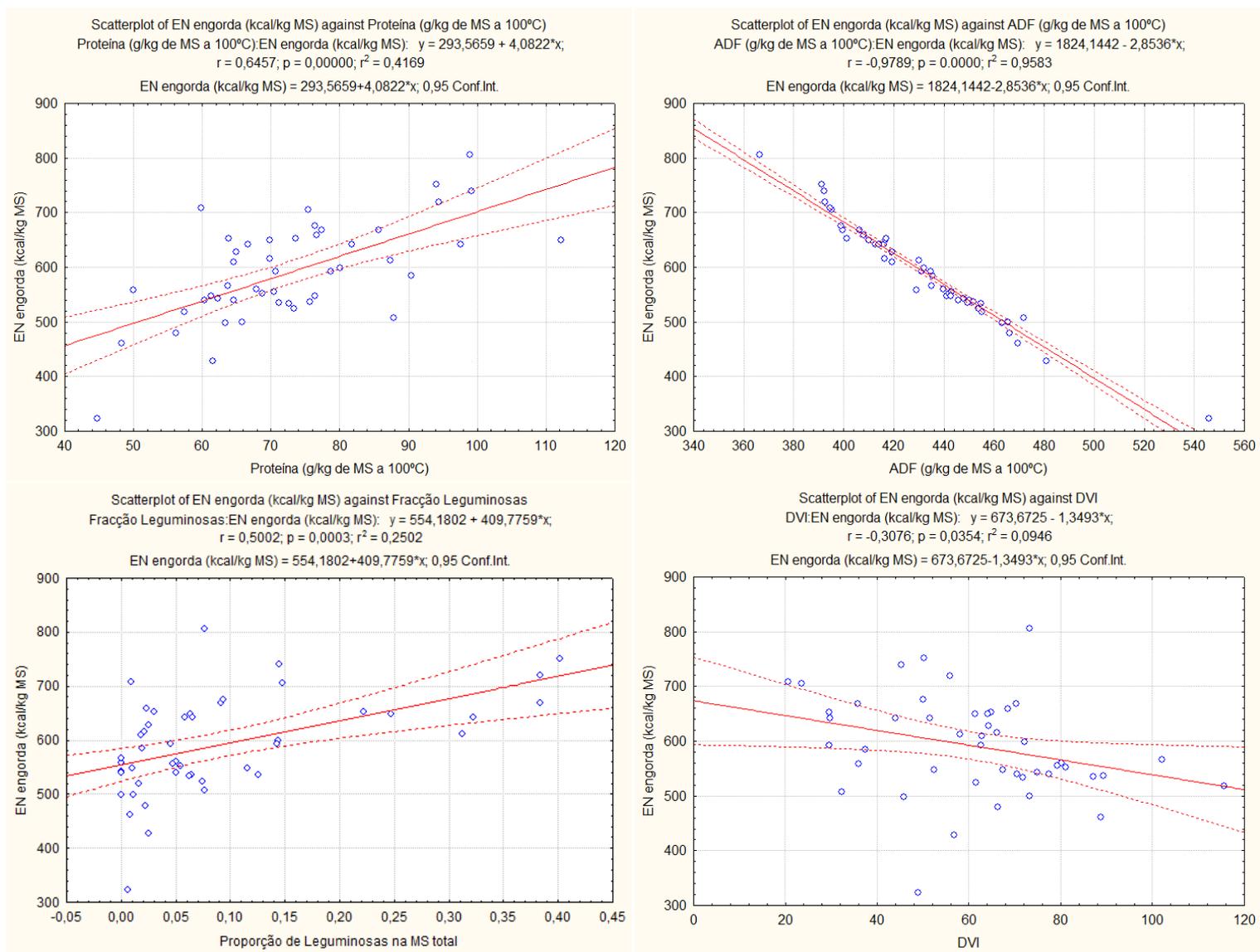


Figura 20 - Rectas de regressão linear simples entre Energia Net de engorda e Proteína Bruta, ADF, Proporção de Leguminosas na MS total e o índice DVI

6.3.2 Modelação estatística

Devido ao facto dos resultados da análise de correlação entre as variáveis de campo e os índices de vegetação não terem sido muito significativos para as variáveis mais importantes relacionadas com a qualidade da pastagem (Proteína Bruta e Energias Net), apenas se apresenta a modelação da produtividade da pastagem, ou seja, da "Matéria Seca total" (objectivo 3). O Quadro 11 mostra o melhor modelo obtido e calculado. Na Figura 21 apresenta-se um gráfico onde estão representados os 47 pontos, cada um definido pelo seu valor observado no campo (eixo xx) e pelo correspondente valor predico pelo modelo (eixo yy). Nos anexos XI, XII e XIII apresentam-se, respectivamente, a análise de variância do modelo, a estimativa dos seus parâmetros e os resíduos associados aos valores predictos.

Quadro 11 - Melhor modelo ajustado obtido para a variável dependente **Matéria Seca total** com base em índices de vegetação obtidos a partir de dados de detecção remota

Modelo	r ² ajustado	Nº variáveis	NDVI	PCD	SAVI	PVR	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIg	NDRGI	NDGBI	-	RPER	GPER	BPER	NIRPER
1	0,4823	8		-2,886	2200,387	6,365		-2212,137		4,796		12,727		-5,172	-2,352				

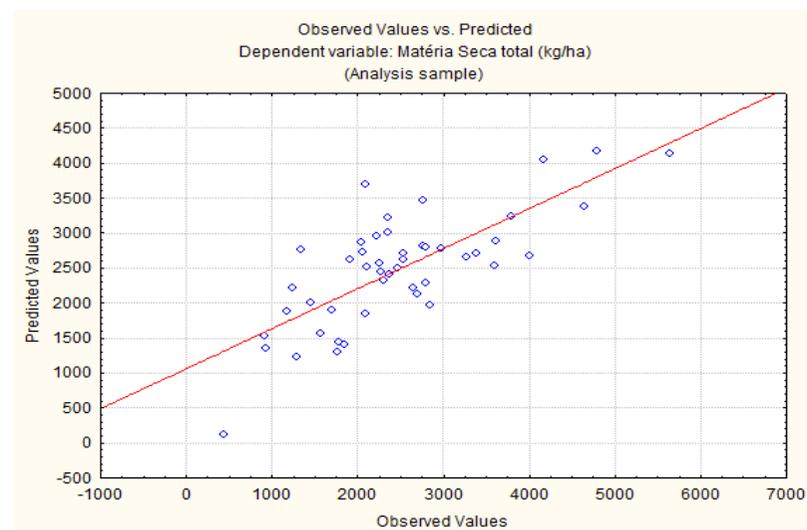


Figura 21 - Gráfico onde se representa a relação entre os valores observados e os predictos pelo modelo nos vários locais de amostragem

O modelo encontrado apresenta um coeficiente de determinação ajustado (r^2) razoável, de aproximadamente 0,5. Este valor significa que o modelo obtido consegue explicar cerca de 50% da variabilidade da Matéria Seca total (variável dependente) verificada nos diversos pontos da parcela.

Os índices que maior contributo dão para o modelo e, conseqüentemente, para a explicação da variabilidade de MS total encontrada, são o SAVI e o IPVI. Em oposição, os dados dos índices NDVI, PRR, DVI, RB, NDRGI, RPER, GPER, BPER e NIRPER não foram utilizados. A não utilização dos índices NDVI, DVI e NIRPER pode parecer um pouco estranha, já que todos eles apresentaram coeficientes de correlação significativos com a Matéria Seca total (Quadro 10), mas explica-se pelo facto de existir autocorrelação entre os IV, pelo que se tornaria redundante colocá-los no modelo.

Apesar do valor de r^2 do melhor modelo calculado neste trabalho ser mais baixo do que os alcançados, igualmente na modelação da produtividade de uma pastagem, por Psomas *et al.* (2011), Edirisinghe *et al.* (2012) ou Porter *et al.* (2014) - $r^2 \approx 0,75$ nos melhores casos - não deixa de ter o seu impacto.

Consideramos que fica mais uma vez provada a relevância que a detecção remota e a agricultura de precisão podem ter na modelação/estimativa da produtividade de uma pastagem, ou melhor, da produtividade em cada local específico da parcela.

Espera-se que os agricultores se abram mais à utilização desta ferramenta de informação de maneira a ser possível avaliar, na prática, os benefícios que ela pode ter para uma melhor gestão das pastagens e dos efectivos.

7 CONCLUSÕES

Ao longo desta dissertação, a palavra "variabilidade" é utilizada com bastante frequência. De facto, é devido à sua existência, importância e influência no meio agrícola que nasceu, existe e se tem vindo a expandir a agricultura de precisão. Nesse seguimento, o primeiro objectivo deste trabalho de "Agricultura de Precisão em Pastagens" esteve relacionado com a avaliação quantitativa e qualitativa da variabilidade espacial de uma pastagem. Consideramos que fica bem patente a grande variabilidade de condições, muitas vezes contíguas, existente numa parcela de 100 ha no Alentejo. As variáveis de campo apresentaram coeficientes de variação bastante consideráveis, entre 7-148%, sendo que as relacionadas com a produção superaram, neste aspecto, as mais ligadas à qualidade da pastagem. No que respeita às variáveis de solo, também se verificou uma variabilidade bastante considerável, onde se destaca o CV do fósforo extraível (114,18%).

Esta alta variabilidade observada sugere uma possível tentativa de abordagem diferenciada à parcela/pastagem, de maneira a aproveitá-la/potenciar a sua utilização ao máximo.

O segundo objectivo prendeu-se com a análise das relações entre todas as variáveis de campo estudadas. O intuito foi verificar a existência (ou não) de correlações entre elas o que, nos casos em que os resultados fossem consideráveis, poderia ajudar na explicação de parte da variabilidade observada. Apesar das correlações não serem tão significativas como esperado, nomeadamente na relação das variáveis do solo tanto com a produtividade como com a qualidade, são suficientes para confirmar algumas considerações como é o caso da presença de gramíneas e leguminosas ser marcadamente afectada pela existência no local de plantas de outras famílias.

Por último, o terceiro objectivo do trabalho foi avaliar a capacidade de resposta de índices de vegetação na correlação com e na modelação de algumas variáveis de campo. Se os resultados alcançados são insatisfatórios no que respeita a relações com as variáveis relacionadas com solo e qualidade da pastagem e pouco positivos no que toca à identificação de famílias e espécies, o mesmo não ocorre na capacidade de modelar a produtividade de cada local da parcela. Com efeito, foi obtido um modelo que estima a produção de matéria seca ao longo da parcela, a partir da utilização de 8 índices de vegetação, com um coeficiente de determinação ajustado (r^2 ajustado) de 0,48 (48%). O resultado é medianamente satisfatório e significativo, apesar de difícil generalização já que se baseia em correlações entre a pastagem em estudo, sua variável de campo analisada e índices de vegetação calculados para o mês de Maio e para o ano de 2014 - resultados diferentes podem ser obtidos noutra pastagem da região ou na mesma apenas se mudando o mês ou mesmo, para o mesmo mês, em ano diferente.

Estimar a produção de biomassa em cada local reveste-se de grande importância já que o conhecimento do seu valor total e da sua variação na parcela constituem a base da gestão das pastagens e do planeamento dos sistemas de produção animal (Serrano *et al.*, 2014a). Todo e qualquer método de estimativa que envolva menores custos, menos tempo e/ou trabalho do que os habituais métodos manuais de cortes é considerado um

passo positivo. Para além destas vantagens, a detecção remota permite obter essa informação em contínuo, ao longo de toda a parcela, e não apenas pontualmente, nos locais de amostragem e corte.

Contudo, este trabalho é apenas mais um contributo para o estudo da AP em pastagens. São necessários muito mais ensaios, em diferentes pastagens, meses e alturas do ano, para aperfeiçoar as técnicas de detecção remota e para validar e aumentar a precisão/correlação dos modelos obtidos. À medida que estes forem sendo realizados e à medida que a tecnologia evolua, melhores e mais consistentes resultados tenderão a aparecer, não só na estimativa da produtividade mas também da qualidade da pastagem, do teor de fósforo no solo (que, eventualmente, permitirá a sua aplicação diferenciada) e no mapeamento de espécies/famílias de plantas. Nessa altura, segundo Tim Neale (citado em Trotter, 2014), a AP e, sobretudo, a aplicação diferenciada poderão ganhar uma expressão superior em pastagens do que em culturas anuais devido:

- À maior área ocupada pelas primeiras;
- À maior variabilidade encontrada nas mesmas (em regra);
- À menor exigência de precisão nas aplicações diferenciadas no caso das pastagens;
- Às margens serem normalmente menores nestes sistemas extensivos, em que qualquer redução de custo e/ou aumento de eficiência tem uma importância decisiva.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T., Upadhyaya, S. K., 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 44: 71-91.
- Agapioi, A., Hadjimitsis, D. G., Alexakis, D. D., 2012. Evaluation of broadband and narrowband vegetation indices for the identification of archaeological crop marks. *Remote Sensing* 4: 3892-3919.
- Amaro Pereira, E., Ornelas Babo, H. C. e Potes, J. M. V. B., 2000. Estudo da interacção animal/pastagem em pastagens melhoradas em Montado de Azinho. *Proceedings of 3ª Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens*, Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria (ed.), Xunta de Galicia, Espanha. pp. 535-542.
- Anginot, E. e Martins, M. M., 2000. Campos de demonstração de pastagem: situação e perspectivas. *In Valorização da caprinicultura na Serra do Caldeirão*, A. Carvalho, A. Pires e P. Quintas (eds.), pp. 97-112. Universidade do Algarve, Faro.
- ARH Alentejo, 2012. *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas integradas na Região Hidrográfica 7. Volume I - Relatório. Parte 2 - Caracterização e Diagnóstico*. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território, Lisboa. 232 pp.
- Aubert, B. A., Schroeder, A., Grimaudo, J., 2012. IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision support systems* 54(1): 510-520.
- Ausseil, A. G., Dymond, J. R., Dynes, R., Shepherd, J. D., DeVantier, B. e Sutherland, A., 2011. Estimating pasture quality using Landsat ETM+: application for the greenhouse gas inventory of New Zealand. *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing for the Environment*, Sydney, Austrália.
- Braga, R., 2009. Condução de tractores e máquinas agrícolas por GPS. *In Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola - Agricultura de Precisão*, J. P. C. Coelho e J. R. Marques da Silva (eds.), pp. 34-53. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa.
- Braga, R., Pinto, P. A., 2011. Agricultura de Precisão, adopção e principais obstáculos. *Agrotec: Revista técnico-científica agrícola* 1: 84-89.
- Brase, T., 2005. *Precision Agriculture*. Thomsom Delmar Learning, New York, USA. 224 pp.
- Carmona Belo, C., Pereira, M. S., Felício, N., Madalena, J. e Domingos, T., 2008. Sistemas de produção animal extensivos. A pastorícia e os produtos de qualidade. Alentejo e serra da Estrela. *In A Silvopastorícia na Prevenção dos Fogos Rurais*. M. Belo Moreira e I. Seita Coelho (eds.), pp. 177-196. ISA Press, Lisboa.

- Carmona Belo, C., Belo, A. T., Felício, N., Martins, J., Domingos, T., 2014. Parâmetros reprodutivos de efectivos de vacas aleitantes no Alentejo. *Revista das Ciências Agrárias* 36(1): 84-95.
- Carneiro, J. P., Barradas, A., 2008. Melhoria de pastagens de sequeiro. *Vida Rural* 1739: 32-34.
- Carranca, C., de Varennes, A., Rolston, D. E., 1999. Biological nitrogen fixation estimated by ¹⁵N dilution, natural ¹⁵N abundance, and N difference techniques in a subterranean clover-grass sward under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 10: 81-89.
- Carvalho Cardoso, J. V. J., 1965. *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese - 1- A sul do Rio Tejo*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa. 309 pp.
- Coelho, A. M., 2005. Potencial de utilização das técnicas de agricultura de precisão na recuperação da fertilidade dos solos sob pastagens degradadas. *Proceedings of 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão*, Embrapa Milho e Sorgo (ed.), Sete Lagoas, Brasil.
- Coelho, A.M., 2008. Agricultura de precisão em sistemas agrícolas. *In Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*, F. G. Faleiro e A. L. F. Neto (eds.), pp. 1063-1080. Embrapa Cerrados, Planaltina, Brasil.
- Coelho, J. C., Silva, L. M., Tristany, M., Neto, M. C. e Pinto, P. A., 2004. *Agricultura de Precisão*. Prefácio, Lisboa. 106 pp.
- Coelho, J. C. e Silva, J. M., 2009. *Agricultura de Precisão*. Associação de Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa. 141 pp.
- Corwin, D. L., Lesch, S. M., 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 11-43.
- Cosentino, S. L., Gresta, F., Testa, G., 2013. Forage chain arrangement for sustainable livestock systems in Mediterranean area. *Grass and Forage Science* 69: 625-634.
- Crespo, D. G., 1975. *Pastagens semeadas temporárias e permanentes de sequeiro*. INIA, Oeiras. 83 pp.
- Crespo, D. G., 1995. Pastagens, forragens e produção animal. Sistemas intensivos versus extensivos. *Pastagens e Forragens* 16: 61-73.
- Crespo, D. G., 2011. Em tempos de crise qual o papel das pastagens e forragens no desenvolvimento da agricultura. *Agrotec: Revista técnico-científica agrícola* 1: 30-32.
- Edirisinghe, A., Clark, D., Waugh, D., 2012. Spatio-temporal modelling of biomass of intensively grazed perennial dairy pastures using multispectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 16: 5-16.

Efe Serrano, J., 2006. *Pastagens do Alentejo: bases técnicas sobre caracterização, pastoreio e melhoramento*. Universidade de Évora - ICAM, Évora. 219 pp.

Elcure, F. A. M. e Rebollo, M. P. F., 2010. Efecto del descanso temporal del pastoreo en la recuperación de variables físicas y químicas del suelo en la Dehesa. *Proceedings of 4ª Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens*, A. C. Suárez, R. G. Navarro, A. R. Mantecón e R. P. Suárez (eds.), León, Espanha. pp. 379-386.

FAO, 2014. *FAO Statistical Yearbook 2014. Europe and Central Asia food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Europe and Central Asia, Budapeste, Hungria. 113 pp.

Fava, F., Colombo, R., Bocchi, S., Meroni, M., Sitzia, M., Fois, N., Zucca, C., 2009. Identification of hyperspectral vegetation indices for Mediterranean pasture characterization. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11: 233-243.

Fu, X., Tang, C., Zhang, X., Fu, J., Jiang, D., 2014. An improved indicator of simulated grassland production based on MODIS NDVI and GPP data: A case study in the Sichuan province, China. *Ecological Indicators* 40: 102-108.

García Fuentes, A., Salazar, C., Torres, J. A., Marchar, F.M. e Cano, E., 2000. Comunidades de interés pascícola en los territorios semiáridos de la provincia de Jaén (Sur de España). *Proceedings of 3ª Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens*, Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria (ed.), Xunta de Galicia, Espanha. pp. 79-84.

Gillingham, A. G., 2001. Precision management of fertiliser application to pasture. *Proceedings of the First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference*, NSW Agriculture (ed.), Sydney, Austrália. pp. 534-541.

GPP, 2014. *Anuário Pecuário. Informação de Mercados*. Enigma Previsível, Portugal. 370 pp.

Grave, A., 2013. *Avaliação da variabilidade espacial da produtividade e qualidade da azeitona e azeite num olival semi-intensivo*. Tese de Mestrado, ISA-UTL, Lisboa. 120 pp.

Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., Strachan, I. B., 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* 90: 337-352.

Hill, M. J., Donald, G. E., Hyder, M. W., Smith, R. C. G., 2004. Estimation of pasture growth rate in the south west of Australia from AVHRR NDVI and climate data. *Remote Sensing of Environment* 93: 528-545.

INE, I. P., 2011. *Recenseamento Agrícola 2009. Análise dos Principais Resultados. Edição 2011*. Instituto Nacional de Estatística I. P., Lisboa, Portugal. 185 pp.

- INRA, 2007. *Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux - valeurs des aliments. Tables INRA 2007*. Editions Quae, Paris, França. 307 pp.
- Jackson, R. D., Huete, A. R., 1991. Interpreting Vegetation indices. *Preventive Veterinary* 11: 185-200.
- Jarrige, R., 1990. *Alimentação dos bovinos, ovinos e caprinos*. Publicações Europa-América, Mem Martins, Portugal. 460 pp.
- Kurtz, D. B., Schellberg, J., Braun, M., 2010. Ground and satellite based assessment of rangeland management in sub-tropical Argentina. *Applied Geography* 30: 210-220.
- Laliberte, A. S., Herrick, J., Rango, A., Winters, C., 2010. Acquisition, or thorectification, and object-based classification of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagey for rangeland monitoring. *Photogrammetric engineering & Remote Sensing* 76(6): 661-672.
- Moreira, N., 2002. *Agronomia das forragens e pastagens*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 183 pp.
- Morgan, M. M. e Ess, D.. 1997. *The Precision-Farming guide for agriculturists*. John Deere & Company, Moline, Illinois, USA. 117 pp.
- Murrillo, M., López, F. G., Paredes, J. e Prieto, P. M., 2010. Evaluación y selección de mezclas de leguminosas pratenses anuales. *Proceedings of 4ª Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens*, A. C. Suárez, R. G. Navarro, A. R. Mantecón e R. P. Suárez (eds.), León, Espanha. pp. 169-176.
- Muslera Pardo, E. e Ratero Garcia, C., 1991. *Praderas y Forrajes, Producción y aprovechamiento*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Spain. 674 pp.
- Nicol, D. L., Finlayson, J., Colmer, T. D., Ryan, M. H., 2013. Opportunistic Mediterranean agriculture - Using ephemeral pasture legumes to utilize summer rainfall. *Agricultural Systems* 120: 76-84.
- Numata, I., R, D. A., Chadwick, O. A., Schimel, J. P., Galvão, L. S., Soares, J. V., 2008. Evaluation of hyperspectral data for pasture estimate in the Brazilian Amazon using field and imaging spectrometers. *Remote Sensing of Environment* 112: 1569-1583.
- Olexa, E. M., Lawrence, R. L., 2014. Performance and effects of land cover type on synthetic surface reflectance data and NDVI estimates for assessment and monitoring of semi-arid rangeland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 30: 30-41.
- Oliver, L., Pérez-Cormona, M. E. e Bermúdez de Castro, F., 2000. Descomposición de hojarasca de leguminosas y gramíneas en un pastizal oligotrófico mediterráneo. *Proceedings of 3ª Reunião Ibérica de Pastagens e*

Forragens, Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria (ed.), Xunta de Galicia, Espanha. pp. 153-158.

Ortiz, I. P., Jiménez, M. C. e Viqueira, F. D., 2000. Influencia de la mezcla de herbáceas com especies pratenses y nativas sobre la protección del suelo frente a la erosión. *Proceedings of 3ª Reunión Ibérica de Pastagens e Forragens*, Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria (ed.), Xunta de Galicia, Espanha. pp. 177-182.

Peça, J. O., Serrano, J.M., 2006. Agricultura de Precisão no Montado Alentejano. *Jornal Expresso - Caderno Agrius* 26: 8-9.

Penteado, M., 2014. *Utilização de imagens de alta resolução de Detecção Remota na gestão do montado de sobro*. Tese de Mestrado, ISA-UTL, Lisboa. 122 pp.

Potes, J. M., 2010. A sustentabilidade ambiental do ecossistema montado. *Proceedings of 4ª Reunión Ibérica de Pastagens e Forragens*, A. C. Suárez, R. G. Navarro, A. R. Mantecón e R. P. Suárez (eds.), León, Espanha. pp. 65-74.

Potes, J., 2011. *O Montado no Portugal Mediterrânico*. Edições Colibri, Santarém. 211 pp.

Porter, T. F., Chen, C., Long, J. A., Lawrence, R. L., Sowell, B. F., 2014. Estimating biomass on CRP pastureland: A comparison of remote sensing techniques. *Biomass and Bioenergy* 66: 268-274.

Psomas, A., Kneubuhler, M., Huber, S., Itten, K., Zimmermann, N. E., 2011. Hyperspectral remote sensing for estimating aboveground biomass and for exploring species richness patterns of grassland habits. *International Journal of Remote Sensing* 32: 9007-9031.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, A. R., Sorooshian, S., 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sensing Environment* 48: 119-126.

Rosendo, J., Anginot, E., Carvalheiro, C., Pinto e J. M. R., 2000. A pastagem em regime silvopastoril. *In Valorização da caprinicultura na Serra do Caldeirão*, A. Carvalho, A. Pires e P. Quintas (eds.), pp. 135-152. Universidade do Algarve, Faro.

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: 59-71.

Schmidtlein, S., Sassan, J., 2004. Mapping of continuous floristic gradients in grasslands using hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment* 92: 126-138.

Seelan, S. K., Laguetta, S., Casady, G. M., Seielstad, G. A., 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment* 88: 157-169.

Serrano, J. M. e Peça, J. O., 2009. Novas tecnologias na distribuição diferenciada de fertilizantes em pastagens: o fechar de um ciclo em Agricultura de Precisão. In *Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola - Agricultura de Precisão*, J. P. C. Coelho e J. R. Marques da Silva (eds.), pp. 105-125. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa.

Serrano, J. M., Peça, J. O., Gonçalves, V., Palma, P., Carvalho, M. J., Silva, J. R., Roma, J., 2007. Variabilidade em pastagens permanentes: contribuição para um projecto de Agricultura de Precisão. *Revista de Ciências Agrárias* 30(1): 267-275.

Serrano, J. M., Peça, J. M., Marques da Silva, J. R., Sousa, A., Palma, P. M., Shahidian, S. e Carvalho, M. J., 2009a. Avaliação da variabilidade das características do solo numa pastagem permanente integrada num projecto de Agricultura de Precisão. *Proceedings of II Congreso Ibérico y V Congreso Nacional de AgrolIngeniería*, Lugo, Espanha.

Serrano, J. M., Peça, J. M., Palma, P. M., Marques da Silva, J. R., Carvalho, M., 2009b. Calibração e validação de um medidor de capacitância num projecto de agricultura de precisão em pastagens. *Revista das Ciências Agrárias* 32: 85-96.

Serrano, J., Peça, J., Silva, J. M., 2010a. Agricultura de precisão em pastagens permanentes do Alentejo: Metodologia para apoio à tomada de decisão. *Vida Rural* 1756: 30-32.

Serrano, J., Peça, J., Silva, J. M., Shahidian, S., 2010b. Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. *Computers and Electronics in Agriculture* 73: 7-16.

Serrano, J. M., Peça, J. O., Shahidian, S., Silva, J. M., 2012. Efeito da topografia na estabilidade temporal dos parâmetros do solo numa pastagem permanente mediterrânica. *Revista de Ciências Agrárias* 35(6): 59-68.

Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J. M., 2013. Small scale soil variation and its effect on pasture yield in southern Portugal. *Geoderma* 195-196: 173-183.

Serrano, J., Peça, J., Silva, J. M., Shahidian, S., 2014a. Avaliação de tecnologias para aplicação diferenciada de fertilizantes: novos conceitos de gestão em pastagens permanentes. *Revista de Ciências Agrárias* 37(3): 253-269.

Serrano, J., Peça, J., Silva, J. M., Shahidian, S., 2014b. Aplicação de fertilizantes: tecnologia, eficiência energética e ambiente. *Revista de Ciências Agrárias* 37(3): 270-279.

Serrano, J., Silva, J. M., Shahidian, S., 2014c. Avaliação do potencial para aplicação diferenciada de potássio em pastagens permanentes no Alentejo - estudo de caso. *Revista de Ciências Agrárias* 37(1):69-79.

Si, Y., Schlerf, M., Zurita-Milla, R., Skidmore, A., Wang, T., 2012. Mapping spatio-temporal variation of grassland quantity and quality using MERIS data and the PROSAIL model. *Remote Sensing of Environment* 121: 415-425.

Simões, N. M., Pereira, M. S., Quintas, A., Barradas, A. M., Vicente, C., Belo, C. C. e Tavares de Sousa, M. M., 2006. Annual legume species for improvement of pastures. *In Animal Products from Mediterranean área*, J. M. C. Ramalho Ribeiro, A. E. M. Horta, C. Mosconi e A. Rosati (eds.), pp. 43-51. Wageningen Academic Publishers, Santarém, Portugal.

Teixeira, R. F. M., Domingos, T., Costa, A.P.S.V., Oliveira, R., Farropas, L., Calouro, F., Barradas, A. M., Carneiro, J.P.B.G., 2011. Soil organic matter dynamics in Portuguese natural and sown rainfed grasslands. *Ecological Modelling* 222: 993-1001.

Tristany, M., 2010. *Um sistema de informação para a análise multi-dimensional da actividade agrícola. Aplicação em diversos casos do panorama agrícola nacional*. Tese de Doutoramento, ISA-UTL, Lisboa. 316 pp.

Trotter, M.G., 2010. Precision agriculture for pasture, rangeland and livestock systems. *In Food Security from Sustainable Agriculture: Proceedings of the 15th Australian Agronomy Conference*, H. Dove e R. Culvenor (eds.). Lincoln, Nova Zelândia.

Trotter, M., 2014. "Pasture Efficiency - East Coast". *Final Report Biomass Business - Activity 2a*. Precision Agriculture Research Group, University of New England, New South Wales, Australia. 111 pp.

Trotter, M., Economou, Z., Barwick, J., Dickson, S., Dobos, R., Schneider, D., Bailey, D., Fogarty, E., Manning, J., Bush, R., Cronin, G., Trotter, T. e Lamb, D., 2014. Next-Gen Technologies for the Grazing Industries - From Yield Mapping Pastures to Virtual Fencing of Livestock. *Proceedings of 17th Symposium on Precision Agriculture in Australasia*, SPAA Precision Agriculture Australia e The University of Sidney (eds.), West Lakes, Austrália. 108 pp.

WVU Extension Service, 2008. *Demonstration of Precision Agriculture on Grassland in the Greenbrier Valley, (WV). Final Programmatic Report*. West Virginia University Extension Service, Estados Unidos da América. 5 pp.

Xu, D., Guo, X., Li, Z., Yang, X., Yin, H., 2014. Measuring the dead component of mixed grassland with Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 142: 33-43.

Zerger, A., Mcintyre, S., Gobbett, D., Stol, J., 2011. Remote detection of grassland nutrient status for assessing ground layer vegetation condition and restoration potential of eucalypt grassy woodlands. *Landscape and Urban Planning* 102: 226-233.

Zhang, N., Wang, M., Wang, N., 2002. Precision agriculture - a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture* 36 (2-3): 113-132.

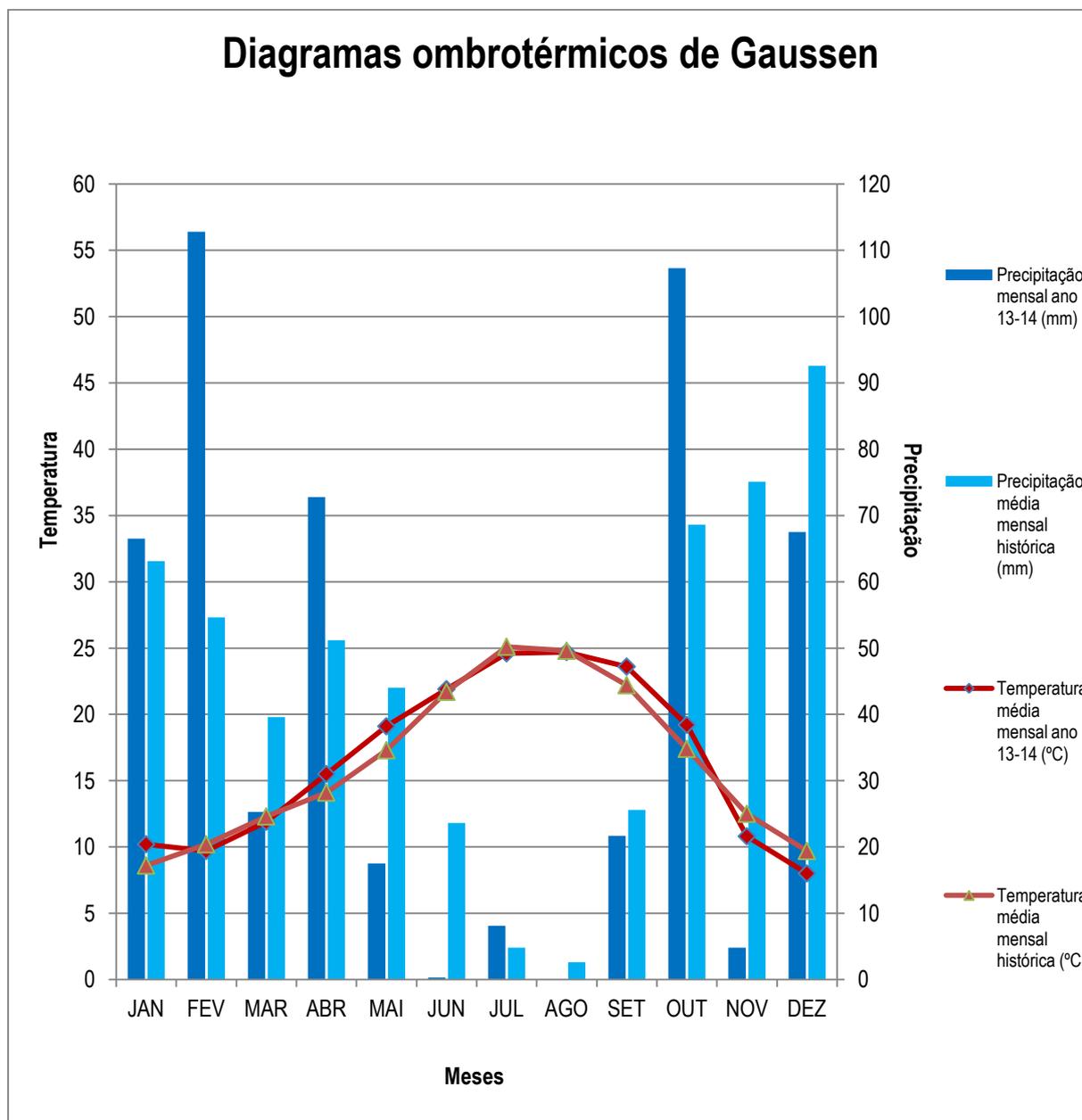
9 ANEXOS

I. Dados climáticos

Mês	Intervalos de 10 dias	Precipitação (mm)		Temperatura (°C)			
		2013-2014	Histórico (últimos 30 anos)	Temperatura mínima 2013-2014	Temperatura máxima 2013-2014	Temperatura média	
						2013-2014	Histórica (últimos 30 anos)
Setembro	1	0,6		14,8	33,2	24	
	2	0		13,5	33,5	23,5	
	3	21,1		16,6	30	23,3	
	Total	21,7	25,6	15	32,2	23,6	22,2
Outubro	1	1,9		15,3	28,1	21,7	
	2	23,3		12,2	26,1	19,2	
	3	82,1		11,9	21,3	16,6	
	Total	107,3	58,6	13,1	25,2	19,2	17,4
Novembro	1	0,4		8,6	20,7	14	
	2	0		5,1	19,1	11,7	
	3	4,4		0,9	14,2	6,7	
	Total	4,8	75,1	4,9	18	10,8	12,5
Dezembro	1	0		-0,9	17,5	6,5	
	2	9,1		4,4	15,7	9,4	
	3	58,4		3	14,1	8,1	
	Total	67,5	92,6	2,2	15,8	8	9,7
Janeiro	1	36,2		7,4	15,7	11,2	
	2	22,1		5,8	14,1	9,5	
	3	8,2		5,3	14,6	9,8	
	Total	66,5	63,1	6,2	14,8	10,2	8,6
Fevereiro	1	67,9		4,4	13,9	9,2	
	2	42,4		5,8	15,6	10,2	
	3	2,5		4,5	15,4	9,7	
	Total	112,8	54,6	4,9	15	9,7	10,2
Março	1	1,1		6,3	19,1	12,1	
	2	0,4		3,7	22,8	12,8	
	3	23,8		5,3	16,5	10,7	
	Total	25,3	39,6	5,1	19,5	11,9	12,3
	1	31,8		9,6	22,1	15,1	

Abril	2	24,2		9,9	24,1	16,5	
	3	16,8		7,9	21,6	15	
	Total	72,8	51,2	9,1	22,6	15,5	14,1
Maio	1	0		10,8	29,7	20,6	
	2	8,8		10,6	29,3	20,2	
	3	8,7		9,5	23,9	16,6	
	Total	17,5	44	10,3	27,6	19,1	17,3
Junho	1	0		11,7	28,3	20,2	
	2	0		15,5	33,9	24,8	
	3	0,3		13,2	28,6	20,7	
	Total	0,3	23,6	13,5	30,3	21,9	21,7
Julho	1	7,8		13,9	31	22,3	
	2	0,3		15,5	35,4	26	
	3	0		15,4	35	25,6	
	Total	8,1	4,8	14,9	33,8	24,6	25,1
Agosto	1	0		16,3	32,8	24,1	
	2	0		14,5	34,5	24,9	
	3	0		14,5	34,9	25,1	
	Total	0	2,6	15,1	34,1	24,7	24,8

II. Gráfico com Diagramas Ombrotérmicos de Gausson do ano agrícola 2013-2014 e da média dos últimos 30 anos para a região de Elvas



III. Dados de campo (Produtividade e Proporção de famílias)

Nº do ponto	Produtividade	Proporção famílias em termos de MS total			
	Matéria Seca total (kg/ha)	Proporção de Gramíneas na MS total	Proporção de Leguminosas na MS total	Proporção de Outras na MS total	Proporção de Resíduos vegetais na MS total
1	1448	0,30	0,02	0,49	0,19
2	1568	0,47	0,06	0,27	0,20
3	2372	0,71	0,03	0,16	0,10
4	1296	0,50	0,15	0,18	0,17
5	1840	0,35	0,05	0,41	0,19
6	1244	0,05	0,01	0,83	0,12
7	2756	0,46	0,08	0,24	0,22
8	2844	0,39	0,32	0,09	0,19
9	2108	0,58	0,02	0,14	0,26
10	440	0,03	0,01	0,69	0,27
11	3608	0,38	0,25	0,12	0,25
12	2788	0,56	0,06	0,28	0,09
13	4640	0,77	0,05	0,11	0,06
14	1784	0,62	0,09	0,14	0,14
15	2036	0,56	0,02	0,29	0,13
16	936	0,20	0,22	0,34	0,24
17	2540	0,42	0,14	0,32	0,12
19	4004	0,49	0,02	0,36	0,14
20	2700	0,50	0,15	0,26	0,10
21	2360	0,43	0,00	0,32	0,25
22	1704	0,10	0,40	0,30	0,19
23	3388	0,17	0,38	0,30	0,14
24	2312	0,32	0,12	0,37	0,20
25	2100	0,29	0,00	0,53	0,18
26	1772	0,69	0,08	0,17	0,06
27	3268	0,88	0,02	0,07	0,03
28	2280	0,61	0,05	0,28	0,05
29	3596	0,71	0,02	0,17	0,10
30	4800	0,66	0,02	0,25	0,08
31	2768	0,60	0,13	0,18	0,09
32	2476	0,83	0,09	0,01	0,06
33	2804	0,48	0,01	0,40	0,10
34	2264	0,47	0,14	0,29	0,09
35	4168	0,64	0,05	0,16	0,15
36	2972	0,50	0,31	0,08	0,10
37	916	0,28	0,07	0,37	0,28
38	3788	0,67	0,05	0,11	0,17
39	1920	0,30	0,38	0,18	0,14
40	2528	0,41	0,07	0,36	0,16
43	5648	0,88	0,01	0,04	0,07
44	2356	0,32	0,06	0,40	0,22
45	2644	0,22	0,03	0,49	0,27
46	2216	0,86	0,00	0,03	0,11
47	2092	0,46	0,00	0,37	0,16
48	1172	0,05	0,00	0,63	0,32
49	2052	0,68	0,01	0,24	0,07
50	1340	0,41	0,06	0,39	0,14

Nota: para obter a proporção de cada fracção foi, logicamente, necessário pesar cada uma dessas fracções individualmente. Se forem necessários os valores dessas pesagens individuais bem como dos dados individuais referentes às quantidades de matéria verde ou de água, o autor disponibilizá-los-á.

IV. Dados de campo (Matéria Seca, em gramas, das várias espécies de leguminosas encontradas)

Nº do ponto	<i>Trifolium subterraneum</i>	<i>Trifolium glomeratum</i>	<i>Trifolium campestre</i>	<i>Trifolium angustifolium</i>	<i>Trifolium vesiculosum</i>	<i>Trifolium cherleri</i>	<i>Trifolium stellatum</i>	<i>Trifolium michelianum</i>	<i>Trifolium resupinatum</i>	<i>Medicago polymorpha</i>	<i>Medicago turbinata</i>	<i>Medicago scutellata</i>	<i>Ornithopus compressus</i>	<i>Ornithopus pinnatus</i>	<i>Scorpiurus muricatus</i>	<i>Lathyrus cicera</i>	<i>Lathyrus clymenum</i>	<i>Bisserrula pelecinus</i>	<i>Ononis repens</i>
1	0,7																		
2	1,1	0,1	0,4	0,1									0,3						
3	1,5	0								0									
4	0,1	0,3			2,4				0,7	0,8									
5	0,9	0,9	0							0									
6														0,2					
7	4,4		0,1						0,1	0,1			0,1						
8	22,9								0										
9	0,7									0,3									
10													0,1						
11	21,3																		
12					3,9					0,2									
13	5,5									0,5									
14										0,8		0,7	0,1				1,9	0,1	
15	0,3									0,2		0							
16		0,4	0	2,8		1,1	0						0,1	0,1					
17	0,3	2	0				1,1			1,2	0,4				3,1				
18		0,6					0,8								0				
19	2,1																		
20	6	0	1,3	0,4						0,5			0,1						
21																			

22			0		15,9								0						
23	23,2				4,1					1,6			0,6			0,5			
24	0,1	0,1			1,4					3,1									
25																			
26	2,4		0							0,4			0,1						
27										0,7	0,8								
28	1,1	0,6			0,1					0,1					0,9				
29	0,7									1,2									
30	0,7	0								1									
31		0,1	0,2	1,8		0,2				0,6	4,1		0						
32		1,2								2,7	1,4								
33	0,1		0,2							0,1			0,2						
34	0,2	0,9	1,2							2,6			1,1						
35	5,6									0,1									
36		1,8	0,5		0,9					4,2	2,2				2,3				6,5
37		0,1	0,3							0,3			0,7						
38	2							0		1,6									
39	18,9					0,2				0,1									
40	3,1	0								1,1									
43	1																		
44	0,4									2,9									
45			1,2		0,4														
46																			
47										0			0						
48																			
49			0							0,3									
50	1,9		0,1							0,1									
Total	129,2	9,1	5,5	5,1	29,1	1,5	1,9	0	0,8	29,4	8,9	0,7	3,5	0,3	6,3	0,5	1,9	0,1	6,5

V. Dados de campo (Variáveis relacionadas com espécies de leguminosas)

Nº do ponto	Espécies de leguminosas			
	Nº espécies de leguminosas na amostra	Proporção de espécies de leguminosas não semeadas no total de leguminosas	Proporção das três espécies mais abundantes no total de leguminosas	Proporção TS no total de leguminosas
1	1	0,00	1,00	1,00
2	5	0,30	0,55	0,55
3	3	0,00	1,00	1,00
4	5	0,07	0,77	0,02
5	4	0,50	0,50	0,50
6	1	0,00	0,00	0,00
7	5	0,02	0,94	0,92
8	2	0,00	1,00	1,00
9	2	0,00	1,00	0,70
10	1	0,00	0,00	0,00
11	1	0,00	1,00	1,00
12	2	0,00	1,00	0,00
13	2	0,00	1,00	0,92
14	5	0,75	0,22	0,00
15	3	0,00	1,00	0,60
16	7	0,96	0,00	0,00
17	7	0,81	0,19	0,04
19	1	0,00	1,00	1,00
20	6	0,20	0,78	0,72
21	0			
22	3	0,00	1,00	0,00
23	5	0,02	0,96	0,77
24	4	0,02	0,98	0,02
25	0			
26	4	0,00	0,97	0,83
27	2	0,53	0,47	0,00
28	5	0,54	0,46	0,39
29	2	0,00	1,00	0,37
30	3	0,00	1,00	0,41
31	7	0,91	0,09	0,00
32	3	0,49	0,51	0,00
33	4	0,33	0,33	0,17
34	5	0,35	0,47	0,03
35	2	0,00	1,00	0,98
36	7	0,72	0,28	0,00
37	4	0,29	0,21	0,00
38	3	0,00	1,00	0,56
39	3	0,01	0,99	0,98
40	3	0,00	1,00	0,74
43	1	0,00	1,00	1,00
44	2	0,00	1,00	0,12
45	2	0,75	0,25	0,00
46	0			
47	2			
48	0			
49	2	0,00	1,00	0,00
50	3	0,05	0,95	0,90

VI. Dados de campo (Variáveis relacionadas com a qualidade da pastagem)

Composição / Qualidade da pastagem						
Nº do ponto	Proteína Bruta (g/kg de MS a 100°C)	NDF (g/kg de MS a 100°C)	ADF (g/kg de MS a 100°C)	ADL (g/kg de MS a 100°C)	EN conservação (kcal/kg MS)	EN engorda (kcal/kg MS)
1	64,93	635,29	419,34	100,37	1 261,32	627,69
2	66,73	672,17	412,55	76,63	1 278,53	641,49
3	63,84	684,55	401,45	79,02	1 281,34	652,53
4	75,47	662,08	395,24	71,81	1 358,68	705,15
5	70,74	655,81	431,08	117,50	1 215,26	592,33
6	44,79	725,57	546,03	108,55	863,63	323,29
7	98,90	609,90	366,37	68,18	1 464,03	805,22
8	97,59	662,84	416,05	94,16	1 271,37	642,04
9	90,42	748,10	435,54	113,56	1 211,83	584,99
10	59,82	568,52	394,51	76,99	1 357,75	708,36
11	112,18	649,73	416,59	84,42	1 277,74	649,11
12	69,79	676,36	409,84	72,98	1 287,28	649,30
13	64,57	706,31	445,74	68,69	1 147,34	539,70
14	77,34	679,79	399,72	55,93	1 300,60	668,09
15	76,61	687,11	407,89	88,92	1 298,66	658,19
16	73,66	642,16	416,89	88,21	1 300,13	652,23
17	80,02	659,82	432,04	87,98	1 226,45	599,08
19	69,85	669,26	416,42	72,32	1 234,56	615,44
20	99,19	618,35	392,24	78,85	1 399,02	739,70
21	62,29	760,34	447,70	77,76	1 163,68	542,35
22	94,03	585,47	391,14	85,59	1 414,91	751,00
23	85,67	601,85	406,45	80,45	1 300,16	668,65
24	76,43	668,61	440,99	80,76	1 144,25	547,36
25	60,32	675,45	450,23	91,10	1 153,57	539,45
26	87,87	748,47	472,10	84,09	1 125,31	507,96
27	64,61	795,99	419,27	61,13	1 246,44	609,43
28	67,90	699,98	439,87	87,20	1 174,34	559,77
29	56,25	761,66	466,25	75,31	1 070,34	479,11
30	57,39	725,37	455,16	82,92	1 127,10	518,43
31	75,65	739,96	451,90	80,65	1 150,85	536,36
32	76,46	804,55	398,89	100,23	1 329,97	675,81
33	65,86	704,03	465,47	96,83	1 099,67	499,00
34	78,68	667,66	434,67	95,53	1 220,14	592,48
35	68,75	666,52	442,21	96,69	1 159,65	552,43
36	87,37	674,72	429,92	77,12	1 246,59	612,33
37	81,75	598,48	414,16	83,10	1 266,95	642,40
38	70,43	719,23	443,16	81,20	1 172,71	555,32
39	94,38	594,76	392,73	74,80	1 361,64	719,07
40	73,38	705,21	453,95	84,77	1 126,86	524,15
43	48,33	764,90	469,75	67,17	1 042,77	461,23
44	71,17	679,85	449,43	92,06	1 140,01	535,73
45	61,55	678,64	480,99	93,73	975,77	427,80
46	49,98	743,94	429,04	62,63	1 165,10	558,42
47	63,76	678,77	434,97	89,10	1 175,98	565,53
48	63,36	638,68	463,40	107,09	1 088,33	498,41
49	61,29	698,63	442,72	76,65	1 158,68	547,85
50	72,62	681,73	454,74	89,49	1 145,79	533,93

VII. Dados de campo (Variáveis relacionadas com o solo)

Nº do ponto	Solo			
	pH (H ₂ O)	MO (%)	Fósforo extraível (mg/kg)	Potássio extraível (mg/kg)
1	5,4	2,5	36	90
2	5,4	3,5	57	61
3	6,4	3,7	64	84
4	5,9	5,5	54	136
5	5,6	2,7	25	116
6	5,4	3,1	89	74
7	5,4	3,9	40	108
8	4,7	3,3	32	62
9	5,8	2,3	24	67
10	5,4	3,1	49	72
11	6,2	3,2	21	66
12	6	3,2	38	352
13	5,7	2	25	129
14	8	6	399	162
15	7,4	4,4	404	271
16	5,8	2,8	48	113
17	8,2	4	76	60
19	8,1	3,5	115	67
20	6	2,5	34	101
21	5,3	2,5	25	68
22	7,8	2,2	121	49
23	5,6	4,2	200	82
24	6,9	3,8	30	45
25	7,5	2,6	63	90
26	5,5	1,8	81	114
27	5,4	3,4	51	93
28	8,4	2,3	88	31
29	6,1	2,5	33	102
30	5,7	3,1	53	121
31	5,9	3,8	32	136
32	6,8	2	16	65
33	8,2	3,9	65	60
34	6	3,8	44	104
35	5,8	1,9	20	80
36	8,1	4,2	127	79
37	5,6	4	82	104
38	5,9	2,8	41	97
39	5,9	2,6	24	80
40	6,2	5,9	37	90
43	5,7	3,5	40	127
44	6,1	1,9	26	122
45	5,8	2,8	31	85
46	5,8	4,6	81	94
47	5,6	4,2	77	109
48	5,6	2,8	28	152
49	5,8	2,5	56	128
50	6	3,8	29	110

VIII. Equações INRA (1997) para o cálculo das Energias Net de conservação e engorda da pastagem

- $Energia\ Bruta\ (kcal/kg\ MO) = 4531 + 1,735 * PB + 82$; $PB\ (g/kg\ MO)$
- $CUD\ MO\ (\%) = 99 - 0,115 * ADF + 0,043 * PB$; $ADF\ e\ PB\ (g/kg\ MS)$
- $CUD\ Energia\ (\%) = 0,957 * CUD\ MO - 0,068$; $CUD\ MO\ (\%)$
- $ED\ (kcal/kg\ MO) = \frac{EB * CUD\ Energia}{100}$; $EB\ (kcal/kg)\ CUD\ Energia\ (\%)$
- $\frac{EM}{ED} * 100 = 84,17 - 0,0099 * FB - 0,0196 * PB + 2,21 * 1,7$; $FB\ e\ PB\ (g/kg\ MO)$
- $FB\ (g/kg\ MS) = \frac{NDF-306}{0,9}$; $NDF\ (g/kg\ MS)$
- $EN\ conservação\ (kcal/kg\ MS) = EM * \left(0,287 * \frac{EM}{EB} + 0,554\right)$; $EM\ (kcal/kg\ MS)$
- $EN\ engorda\ (kcal/kg\ MS) = EM * \left(0,78 * \frac{EM}{EB} + 0,006\right)$; $EM\ (kcal/kg\ MS)$

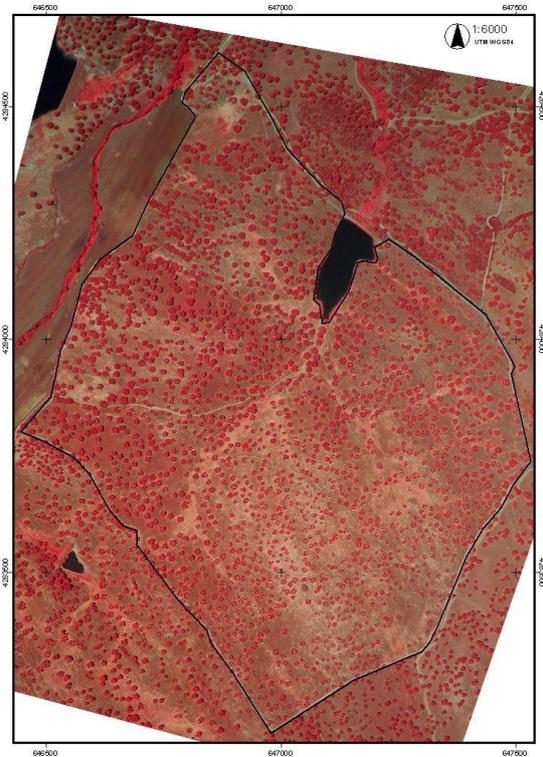
IX. Valores dos índices de vegetação para cada local de amostragem

Nº do ponto	NDVI	PCD	SAVI	PVR	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVlg	NDRGI	NDGBI	I	RPER	GPER	BPER	NIRPER
1	0,34	2,04	0,51	1,02	1,06	0,67	64,30	3,59	1,04	0,33	-0,01	0,03	184,22	0,33	0,34	0,32	0,68
2	0,23	1,61	0,35	0,96	0,97	0,62	51,47	-2,65	1,01	0,25	0,02	-0,02	249,26	0,34	0,33	0,34	0,55
3	0,37	2,15	0,55	1,06	0,87	0,68	64,83	-8,65	0,82	0,34	-0,03	-0,07	184,15	0,31	0,32	0,37	0,66
4	0,11	1,24	0,16	0,95	1,24	0,55	23,63	17,85	1,30	0,13	0,02	0,11	265,32	0,37	0,35	0,28	0,46
5	0,13	1,31	0,20	0,90	1,31	0,57	29,58	20,08	1,46	0,19	0,05	0,13	246,57	0,39	0,35	0,27	0,51
6	0,26	1,70	0,39	1,05	0,96	0,63	48,96	-3,15	0,91	0,24	-0,02	-0,02	220,33	0,32	0,33	0,35	0,54
7	0,36	2,11	0,54	0,96	0,87	0,68	73,26	-9,40	0,91	0,38	0,02	-0,07	201,08	0,33	0,31	0,36	0,69
8	0,24	1,62	0,35	0,95	1,08	0,62	44,04	4,80	1,13	0,26	0,03	0,04	200,85	0,35	0,34	0,31	0,57
9	0,18	1,44	0,27	0,84	0,99	0,59	37,40	-0,46	1,19	0,26	0,09	0,00	229,05	0,37	0,31	0,31	0,54
10	0,09	1,20	0,13	0,83	0,99	0,55	20,65	-1,12	1,19	0,18	0,09	-0,01	278,49	0,37	0,31	0,31	0,45
11	0,35	2,09	0,53	0,88	0,78	0,68	64,04	-14,89	0,88	0,41	0,06	-0,13	177,99	0,33	0,29	0,38	0,69
12	0,26	1,72	0,40	0,80	1,14	0,63	61,40	8,37	1,42	0,36	0,11	0,07	214,12	0,40	0,32	0,28	0,69
13	0,34	2,03	0,51	1,01	1,06	0,67	77,47	3,99	1,04	0,33	-0,01	0,03	224,39	0,34	0,34	0,32	0,68
14	0,15	1,35	0,22	0,89	1,23	0,57	35,82	16,89	1,38	0,20	0,06	0,10	267,40	0,38	0,34	0,28	0,52
15	0,32	1,93	0,48	1,02	1,17	0,66	68,50	10,65	1,15	0,31	-0,01	0,08	212,41	0,35	0,35	0,30	0,67
16	0,13	1,31	0,20	0,92	1,20	0,57	29,54	14,61	1,31	0,18	0,04	0,09	258,52	0,37	0,34	0,29	0,49
17	0,35	2,06	0,52	1,02	1,12	0,67	72,18	7,15	1,10	0,34	-0,01	0,05	198,82	0,34	0,35	0,31	0,70
19	0,32	1,96	0,48	0,99	1,00	0,66	66,08	-0,17	1,01	0,33	0,01	0,00	204,94	0,34	0,33	0,33	0,66
20	0,21	1,53	0,31	0,86	0,94	0,60	45,33	-4,76	1,10	0,28	0,08	-0,03	237,25	0,36	0,31	0,33	0,55
21	0,34	2,04	0,51	1,00	1,12	0,67	74,85	7,61	1,12	0,34	0,00	0,06	209,04	0,35	0,35	0,31	0,70
22	0,21	1,52	0,31	0,92	1,14	0,60	50,20	10,77	1,24	0,25	0,04	0,06	261,69	0,37	0,34	0,30	0,56
23	0,32	1,94	0,48	0,83	1,07	0,66	70,40	3,85	1,29	0,40	0,09	0,03	194,34	0,38	0,32	0,30	0,75
24	0,24	1,62	0,35	0,89	1,12	0,62	52,50	7,93	1,26	0,29	0,06	0,06	226,71	0,37	0,33	0,30	0,60
25	0,36	2,13	0,54	0,82	1,01	0,68	70,55	0,42	1,22	0,44	0,10	0,00	164,89	0,38	0,31	0,31	0,81

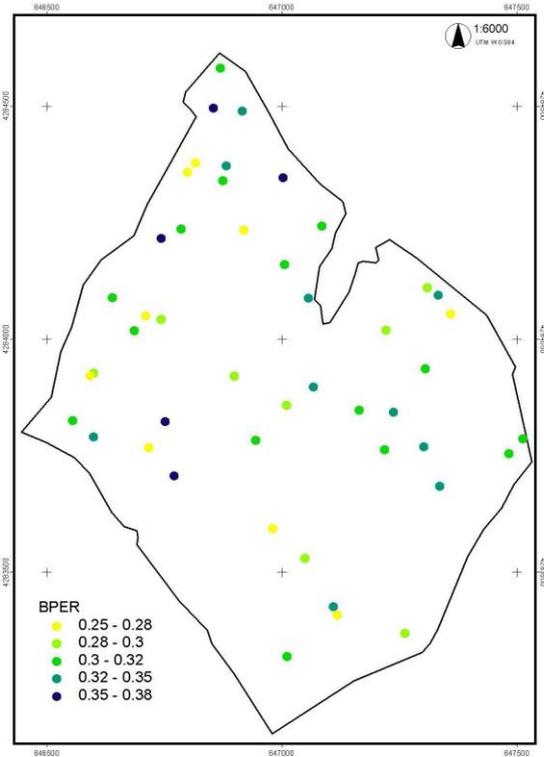
26	0,13	1,31	0,20	0,93	1,26	0,57	32,31	20,40	1,35	0,17	0,03	0,12	279,97	0,37	0,35	0,28	0,49
27	0,27	1,75	0,41	0,78	1,18	0,64	62,88	9,83	1,52	0,39	0,13	0,08	204,74	0,41	0,32	0,27	0,72
28	0,40	2,34	0,60	0,93	0,93	0,70	80,19	-4,06	1,00	0,43	0,03	-0,04	175,40	0,34	0,32	0,34	0,80
29	0,26	1,71	0,39	0,90	1,11	0,63	66,23	8,35	1,23	0,31	0,05	0,05	251,64	0,37	0,33	0,30	0,63
30	0,49	2,95	0,74	1,04	1,01	0,75	115,64	0,50	0,97	0,48	-0,02	0,00	182,10	0,33	0,34	0,34	0,96
31	0,43	2,52	0,65	0,81	0,78	0,72	89,24	-13,79	0,96	0,51	0,10	-0,13	167,93	0,35	0,28	0,37	0,88
32	0,22	1,56	0,33	0,82	0,97	0,61	49,98	-2,36	1,17	0,31	0,10	-0,02	238,24	0,37	0,31	0,32	0,58
33	0,28	1,76	0,41	0,94	1,06	0,64	73,18	4,95	1,12	0,30	0,03	0,03	271,45	0,35	0,33	0,31	0,62
34	0,31	1,88	0,46	0,91	1,01	0,65	62,69	0,62	1,11	0,35	0,05	0,00	200,05	0,36	0,32	0,32	0,67
35	0,36	2,15	0,55	0,76	0,91	0,68	81,20	-5,57	1,20	0,48	0,14	-0,05	183,44	0,39	0,29	0,32	0,83
36	0,25	1,68	0,38	0,81	0,88	0,63	58,07	-9,38	1,08	0,35	0,10	-0,06	232,69	0,36	0,30	0,34	0,61
37	0,12	1,27	0,18	0,75	0,97	0,56	29,85	-2,86	1,29	0,26	0,15	-0,02	274,88	0,40	0,30	0,31	0,51
38	0,39	2,27	0,58	1,05	0,99	0,69	79,34	-0,50	0,95	0,37	-0,02	0,00	194,43	0,32	0,34	0,34	0,73
39	0,23	1,61	0,35	0,82	1,13	0,62	55,87	8,73	1,38	0,32	0,10	0,06	232,21	0,39	0,32	0,28	0,63
40	0,27	1,76	0,41	0,97	1,10	0,64	61,54	6,91	1,13	0,29	0,02	0,05	232,46	0,35	0,34	0,31	0,62
43	0,40	2,36	0,61	0,76	0,83	0,70	88,72	-10,25	1,10	0,51	0,14	-0,09	174,23	0,37	0,28	0,34	0,88
44	0,41	2,37	0,61	0,91	0,83	0,70	87,22	-11,50	0,92	0,45	0,05	-0,09	190,84	0,33	0,30	0,36	0,79
45	0,21	1,55	0,32	0,87	1,22	0,61	56,88	16,39	1,41	0,28	0,07	0,10	267,94	0,39	0,34	0,28	0,60
46	0,18	1,44	0,27	0,80	1,08	0,59	35,97	5,04	1,36	0,29	0,11	0,04	205,37	0,39	0,31	0,29	0,57
47	0,41	2,40	0,62	0,82	0,92	0,71	102,14	-4,95	1,12	0,49	0,10	-0,04	197,96	0,37	0,30	0,33	0,88
48	0,15	1,36	0,23	0,88	1,40	0,58	45,85	31,89	1,59	0,21	0,06	0,17	317,02	0,40	0,35	0,25	0,54
49	0,29	1,81	0,43	0,92	1,09	0,64	67,33	6,58	1,19	0,33	0,04	0,05	227,92	0,36	0,33	0,30	0,66
50	0,34	2,02	0,51	0,92	1,00	0,67	71,77	-0,02	1,08	0,37	0,04	0,00	200,09	0,35	0,32	0,32	0,71

X. Cartas de falsa-cor e dos índices de vegetação

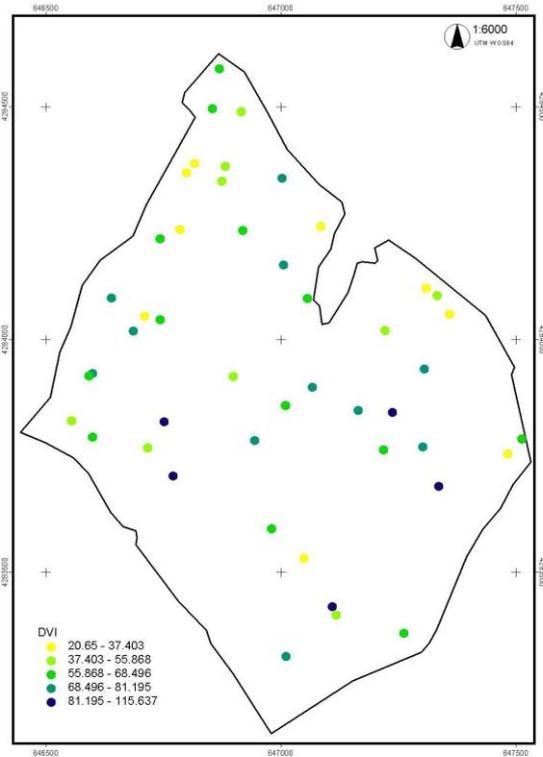
Herdade de Pão Mole - Pastagem - Falsa-cor



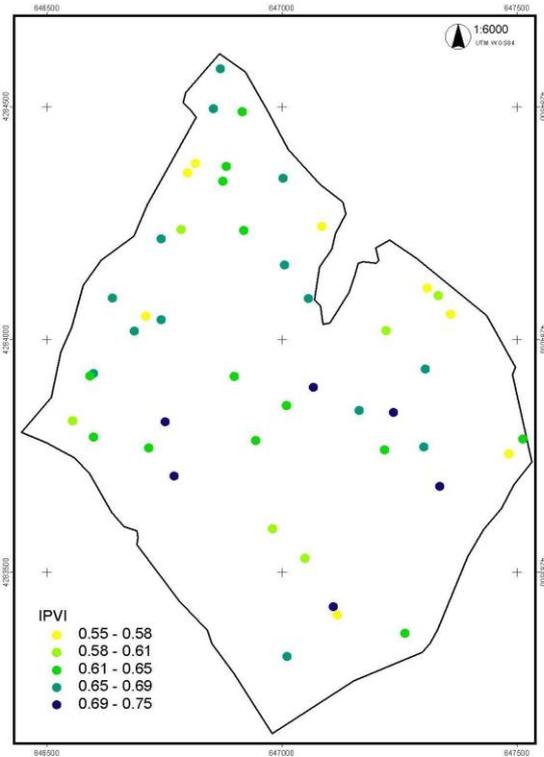
Herdade de Pão Mole - BPER



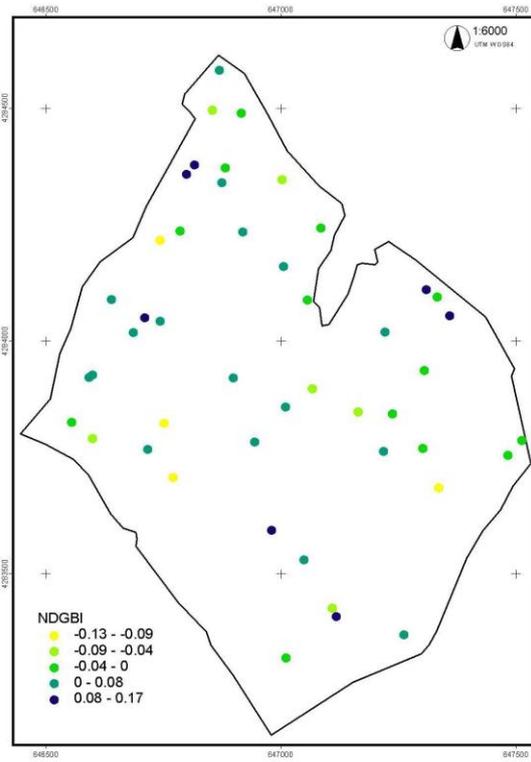
Herdade de Pão Mole - DVI



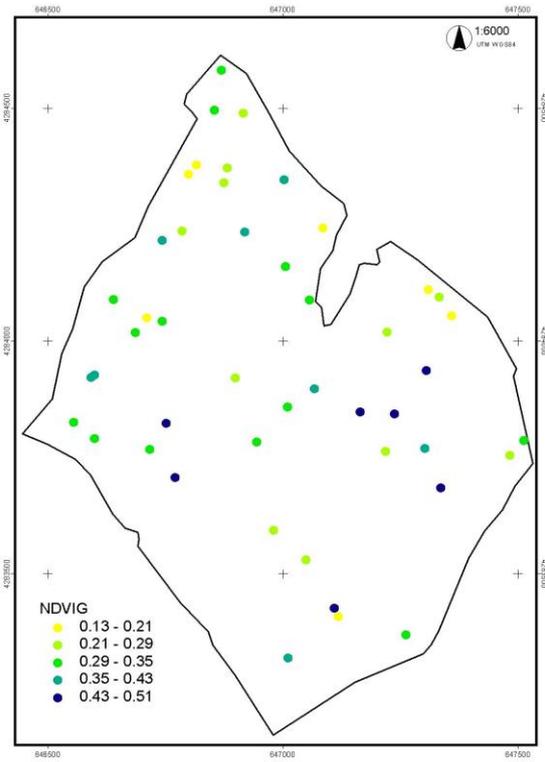
Herdade de Pão Mole - IPVI



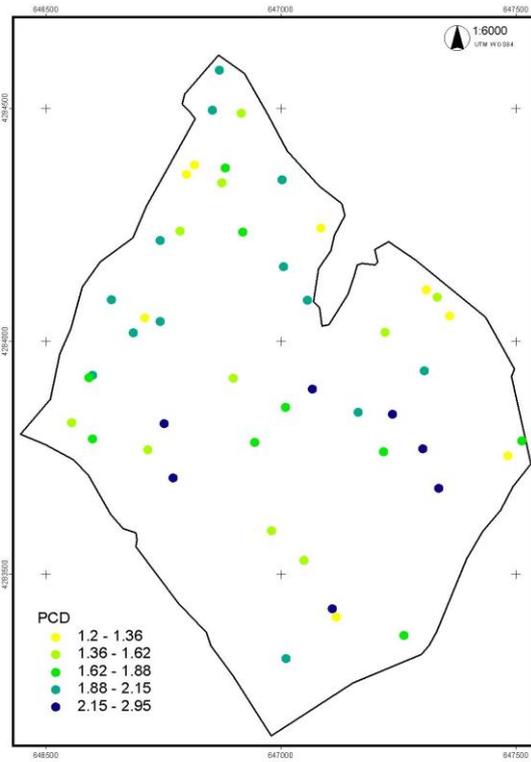
Herdade de Pão Mole - NDGBI



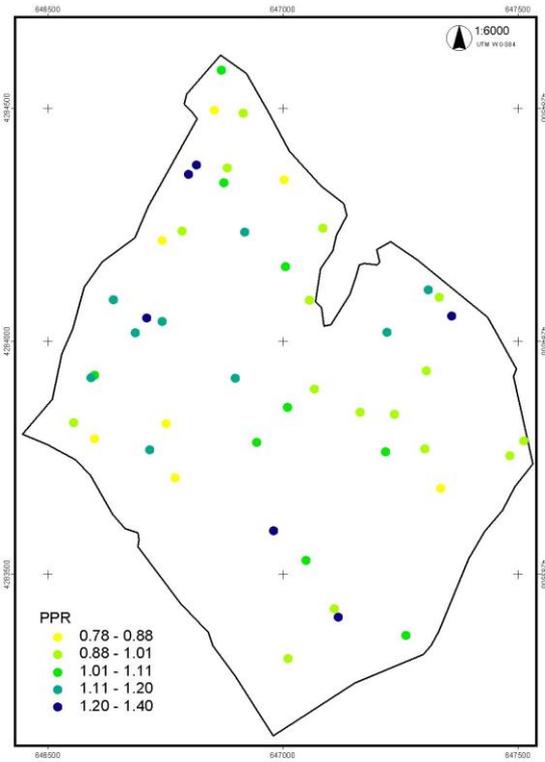
Herdade de Pão Mole - NDVIG



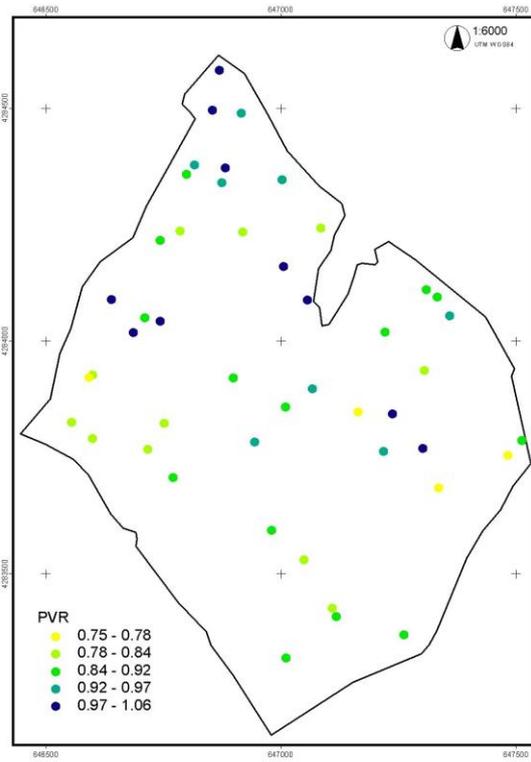
Herdade de Pão Mole - PCD



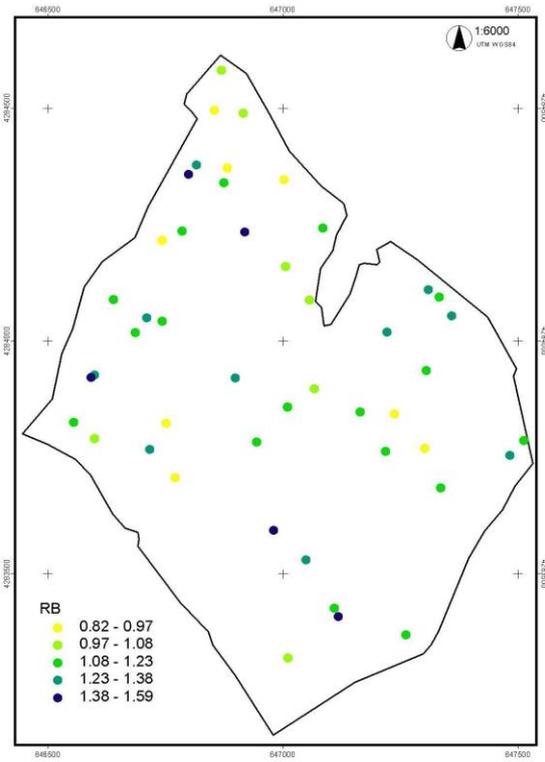
Herdade de Pão Mole - PPR



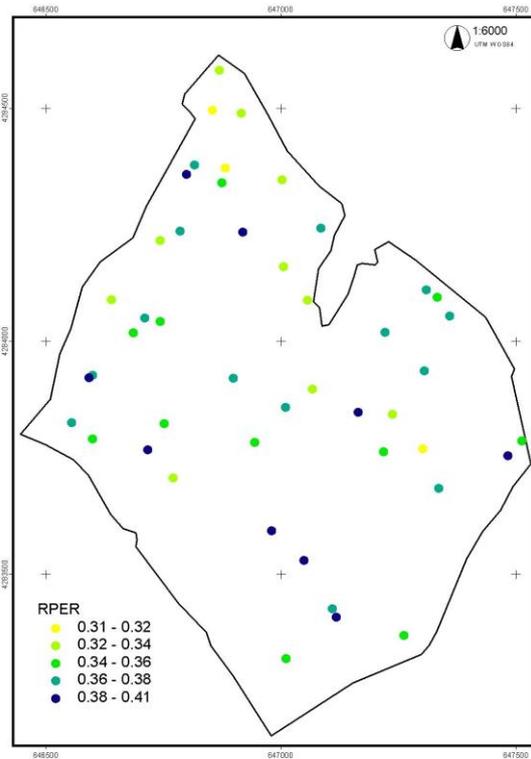
Herdade de Pão Mole - PVR



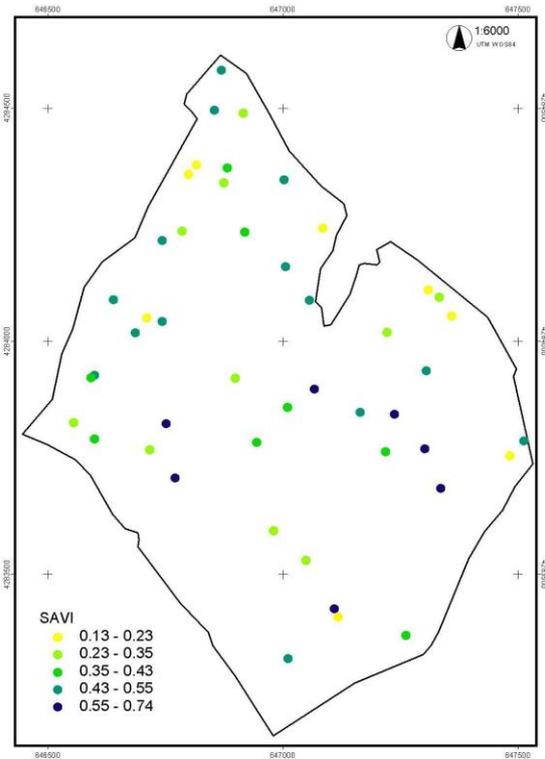
Herdade de Pão Mole - RB



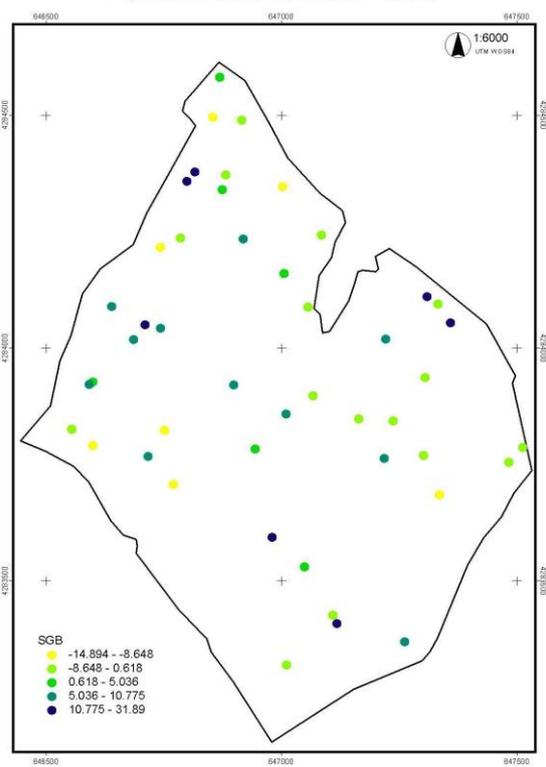
Herdade de Pão Mole - RPER



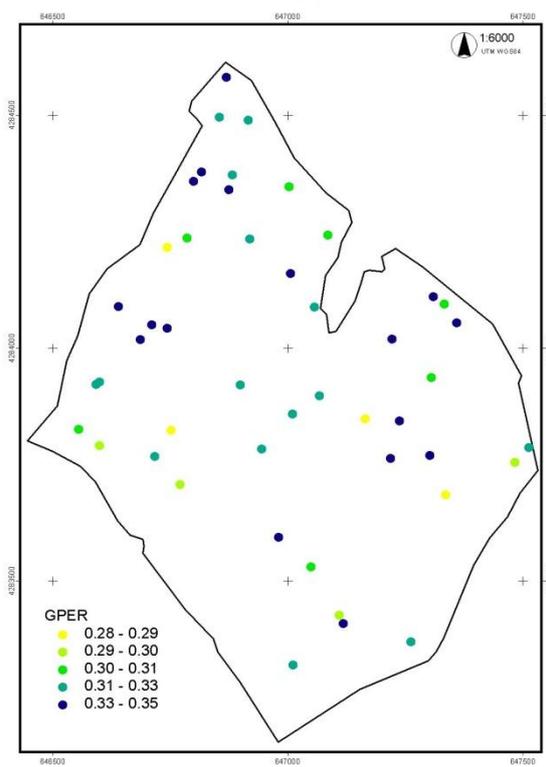
Herdade de Pão Mole - SAVI



Herdade de Pão Mole - SGB



Herdade de Pão Mole - GPER



XI. Análise de variância do modelo obtido

Variável dependente	Multiple R	Multiple R ²	Adjusted R ²	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
Matéria Seca total (kg/ha)	0,756555	0,572376	0,482350	29720013	8	3715002	22203919	38	584313,7	6,357890	0,000032

XII. Estimativa dos parâmetros do modelo obtido

	Comment (B/Z/P)	Matéria Seca total (kg/ha) Param.	Matéria Seca total (kg/ha) Std.Err	Matéria Seca total (kg/ha) t	Matéria Seca total (kg/ha) p	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	Matéria Seca total (kg/ha) Beta (β)	Matéria Seca total (kg/ha) St.Err.β	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt
Intercept		24067413	6658248	3,61468	0,000869	10588494	37546331				
NDVI	Pooled										
PCD		-7866	2756	-2,85364	0,006959	-13445	-2286	-2,89	1,0114	-4,93	-0,839
SAVI		16033261	4436748	3,61374	0,000872	7051535	25014986	2200,39	608,8945	967,75	3433,030
PVR		78377	26298	2,98033	0,004999	25139	131615	6,36	2,1356	2,04	10,688
PPR	Pooled										
IPVI		-48237282	13336941	-3,61682	0,000864	-75236508	-21238057	-2212,14	611,6253	-3450,31	-973,966
DVI	Pooled										
SGB		521	163	3,19467	0,002814	191	851	4,80	1,5013	1,76	7,835
RB	Pooled										
NDVIg		144613	50268	2,87683	0,006554	42850	246376	12,73	4,4240	3,77	21,683
NDRGI	Pooled										
NDGBI		-82883	25608	-3,23661	0,002510	-134723	-31042	-5,17	1,5979	-8,41	-1,937
I		-70	21	-3,32594	0,001962	-113	-28	-2,35	0,7071	-3,78	-0,920
RPER	Pooled										
GPER	Pooled										
BPER	Pooled										
NIRPER	Pooled										

XIII. Valores observados, predictos pelo modelo e seus resíduos

	Matéria Seca total (kg/ha) Observed	Matéria Seca total (kg/ha) Predictd	Matéria Seca total (kg/ha) Resids
1	1448,000	2005,563	-557,56
2	1568,000	1563,133	4,87
3	2372,000	2404,187	-32,19
4	1296,000	1222,214	73,79
5	1840,000	1413,557	426,44
6	1244,000	2220,626	-976,63
7	2756,000	2813,352	-57,35
8	2844,000	1963,558	880,44
9	2108,000	2511,834	-403,83
10	440,000	112,853	327,15
11	3608,000	2880,059	727,94
12	2788,000	2803,948	-15,95
13	4640,000	3387,149	1252,85
14	1784,000	1449,257	334,74
15	2036,000	2867,470	-831,47
16	936,000	1355,058	-419,06
17	2540,000	2714,996	-175,00
19	4004,000	2676,413	1327,59
20	2700,000	2124,107	575,89
21	2360,000	3014,616	-654,62
22	1704,000	1892,749	-188,75
23	3388,000	2714,970	673,03
24	2312,000	2315,056	-3,06
25	2100,000	1845,721	254,28
26	1772,000	1306,283	465,72
27	3268,000	2662,194	605,81
28	2280,000	2442,755	-162,76
29	3596,000	2542,384	1053,62
30	4800,000	4169,294	630,71
31	2768,000	3468,118	-700,12
32	2476,000	2506,537	-30,54
33	2804,000	2285,717	518,28
34	2264,000	2563,222	-299,22
35	4168,000	4048,354	119,65
36	2972,000	2773,077	198,92
37	916,000	1522,825	-606,83
38	3788,000	3241,684	546,32
39	1920,000	2628,779	-708,78
40	2528,000	2616,992	-88,99
43	5648,000	4145,219	1502,78
44	2356,000	3216,547	-860,55
45	2644,000	2207,616	436,38
46	2216,000	2960,102	-744,10
47	2092,000	3703,274	-1611,27
48	1172,000	1888,897	-716,90
49	2052,000	2725,114	-673,11
50	1340,000	2758,568	-1418,57