

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS, AMBIENTE
E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**

Isabel Maria Valgôde Alves Pôças

**OS LAMEIROS NO CONTEXTO DAS PAISAGENS DE MONTANHA.
MONITORIZAÇÃO POR DETECÇÃO REMOTA EM DIFERENTES
ESCALAS ESPÁCIO-TEMPORAIS**

Dissertação submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para
obtenção do grau de Doutor em Ciências Agrárias.

Realizada sob orientação: Professor Catedrático Luís Santos Pereira
e co-orientação: Professor Doutor Mário Cunha

AGRADECIMENTOS

A todos quantos contribuíram para a realização deste trabalho fica o meu sincero agradecimento.

Ao Sr. Professor Luís Santos Pereira pela orientação científica deste trabalho de doutoramento, pelos ensinamentos transmitidos, pelo entusiasmo relativamente ao tema em estudo, pelas oportunidades que me proporcionou de aprofundar conhecimentos junto de outros investigadores e grupos de investigação, pela confiança demonstrada no meu trabalho e pela revisão cuidada deste documento.

Ao Sr. Professor Mário Cunha pela co-orientação científica deste trabalho de doutoramento, pelo constante incentivo e motivação, pelos ensinamentos transmitidos, pela forma interessada com que acompanhou todo o trabalho prático, pelos recursos que colocou ao meu dispor e pela revisão cuidada deste documento.

Ao Sr. Engenheiro Moura, da Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte, por toda a colaboração e disponibilidade ao longo do trabalho. O seu apoio foi fundamental na definição das parcelas de estudo, no estabelecimento de contactos com os agricultores e no aprofundamento de conhecimentos sobre as práticas tradicionais em lameiros e seus regadios.

Ao Sr. Engenheiro Adelino Bernardo, da Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte, por toda a disponibilidade e colaboração ao longo do trabalho.

Ao Sr. Engenheiro Gusmão, pela sua partilha de saber acerca dos sistemas de agricultura do Barroso.

Aos agricultores da aldeia de Paredes do Rio, por generosamente terem consentido que o trabalho de campo fosse realizado na Corga das Ameixeiras e na Corga Rebolar e por sempre me receberem de braços abertos na aldeia.

Ao Sr. António de Moura, da aldeia de Paredes do Rio, pela colaboração na actualização do registo de regantes da aviação da água da Corga das Ameixeiras e da Corga Rebolar.

Ao Sr. João Manuel Poças e ao Sr. Jorge Miguel, da freguesia de Salto, por generosamente terem consentido a realização de trabalho de campo nos seus lameiros e pela disponibilidade e simpatia demonstrada ao longo do trabalho.

Ao Sr. Domingos Capela, pelo apoio na definição de parcelas de estudo em Salto e no estabelecimento de contactos com os agricultores.

À Associação Cultural e Social de Paredes do Rio e ao Centro de Gestão da Empresa Agrícola do Barroso pela colaboração concedida na preparação do trabalho de campo.

À Câmara Municipal de Montalegre, pela cedência de cartografia do concelho de Montalegre.

Ao Sr. Professor André Marçal, por todo o apoio e aconselhamento na aplicação de metodologias de detecção remota ao longo do trabalho e pela disponibilidade demonstrada.

Ao Sr. Professor José Alberto Gonçalves por toda a colaboração e esclarecimentos acerca de questões relacionadas com cartografia.

Ao Sr. Professor Richard Allen, da *University of Idaho*, pela orientação da formação no modelo METRIC, realizada no *Kimberly R&E Center*, e pelo apoio na análise dos resultados da aplicação do modelo sobre a área de estudo.

Ao Doutor Jeppe Kjaersgaard, à Doutora Magali Garcia e ao Doutor Clarence Robinson, da *University of Idaho*, pela colaboração na formação no modelo METRIC e por todo o apoio durante o período que estive em Kimberly.

À Doutora Ana Ambrósio Paulo, do Centro de Engenharia de Biosistemas, pela colaboração no controlo de qualidade dos dados meteorológicos.

À colega Arlete Rodrigues pela colaboração no trabalho de campo e à colega Lisa Silva pela colaboração na aquisição dos dados do sensor SPOT-VEGETATION.

À Doutora Maria João Pereira, do Instituto Superior Técnico, pelo apoio concedido no âmbito da aquisição de imagens de satélite.

Ao programa OASIS, pelo financiamento das imagens SPOT utilizadas no trabalho.

Ao projecto "Ancestral irrigation management on mountain seminatural meadows using remote sensing. LAMESAT_XXI", financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AGR-AAM/67182/2006), pela disponibilização de diversos recursos.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pelo financiamento da bolsa de doutoramento (SFRH/BD/24373/2005) concedida no âmbito do POCI 2010 – Formação Avançada para a Ciência – Medida IV.3.

Aos amigos que acompanharam mais de perto este período da minha vida e me deram alento para trabalhar com entusiasmo neste doutoramento.

Aos meus pais, ao Jorge, à Marisa e à Inês pelo constante incentivo, mas acima de tudo por estarem sempre tão presentes.

RESUMO

Os lameiros, pastagens semi-naturais de montanha, constituem um importante património histórico e cultural da paisagem e sistemas de agricultura do Nordeste de Portugal. O seu papel na economia e desenvolvimento rural desta região é inequivocamente reconhecido, ao que se associam contribuições em diversas funções ecológicas. Mas o envelhecimento da população nesta região de montanha, associado à saída dos mais jovens para as grandes cidades à procura de melhores condições de vida, e as previsíveis limitações ao uso da água constituem factores potencialmente limitantes à conservação destas pastagens a médio-longo prazo.

Neste contexto foi desenvolvido um trabalho de monitorização de lameiros em Montalegre através de detecção remota. Para o efeito foram considerados diferentes tipos de sensores remotos, com diferentes resoluções espaciais e temporais – SPOT (HRV, HRVIR e HRG), Landsat (TM e ETM+) e SPOT-VEGETATION –, de modo a analisar a dinâmica dos lameiros em diferentes escalas. Esta monitorização incluiu ainda observações directas sobre parcelas de lameiros, com medições periódicas da reflectância através de um espectrorradiómetro, medições de altura da vegetação e registo dos estados fenológicos. A partir dos dados de reflectância obtidos com os diferentes sensores foi calculado o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

A análise da correlação entre os NDVIs obtidos com o espectrorradiómetro e com os sensores SPOT (HRV, HRVIR e HRG), Landsat (TM e ETM+) evidenciou a adequabilidade destes dois sensores remotos para a monitorização dos lameiros à escala da parcela durante boa parte do ano (de meados da Primavera a meados do Outono), permitindo a distinção de lameiros sujeitos a diferentes regimes hídricos particularmente nos períodos do ano em que a água constitui factor limitante. Também a análise dos NDVIs obtidos a partir do SPOT-VEGETATION e de dados de medições com o espectrorradiómetro revelaram correlação estatisticamente significativa ($R^2=0.49$; $n=33$; $p<0.01$). Igualmente significativa foi a correlação entre os NDVIs obtidos com este sensor e a altura da vegetação medida ao nível da parcela ($R^2=0.52$; $n=35$; $p<0.01$). Considerando a sua elevada resolução temporal, o SPOT-VEGETATION foi utilizado para aferir dinâmicas intra e inter-anuais neste tipo de pastagens de montanha. O perfil do NDVI construído com dados deste sensor ajustou-se à dinâmica de desenvolvimento da vegetação e práticas culturais características nos lameiros, ainda que, pontualmente, se tenham registado alguns problemas de escala entre a informação recolhida em campo e pelo satélite. A análise da variação inter-anual em lameiros através do SPOT-

VEGETATION para o período entre 1998 e 2008 revelou uma correlação estatisticamente significativa entre a temperatura e o NDVI médio durante o período de desenvolvimento ($r > 0.74$; $n = 11$; $p > 0.01$). Estatisticamente significativa foi também a relação entre a temperatura (e a evapotranspiração de referência) e a data de ocorrência do máximo desenvolvimento da vegetação.

Numa outra perspectiva, foram usadas imagens Landsat para aplicação de um modelo de determinação da evapotranspiração a partir do balanço energia sobre a superfície do solo, *Mapping Evapotranspiration at high Resolution using Internalized Calibration* (METRIC). Este modelo permitiu aferir a distribuição espacial e temporal da evapotranspiração em lameiros e nos demais elementos que constituem o mosaico paisagístico em Montalegre no período de Primavera – Verão. Os valores de evapotranspiração para os lameiros de regadio amostrados oscilaram entre 2.07 mm d^{-1} na imagem de 2 de Setembro e 4.48 mm d^{-1} na imagem de 22 de Junho, enquanto nos lameiros de sequeiro variou entre 1.87 mm d^{-1} na imagem de 2 de Setembro e 3.89 mm d^{-1} na imagem de 22 de Junho. Foi ainda possível uma primeira aproximação dos coeficientes culturais em lameiros com diferentes regimes hídricos nesse mesmo período.

Dados derivados a partir do METRIC, nomeadamente os componentes do balanço de energia, e dados de NDVI e de temperatura de superfície foram ainda usados para identificar e caracterizar os principais tipos de coberto do solo (LCT) na região. A combinação entre dados de NDVI, evapotranspiração, temperatura de superfície e fluxo de calor do solo, para três imagens Landsat de Maio e Junho, permitiu discriminar entre os LCT considerados (com um rigor de 93%) e caracterizar os tipos de coberto em função das suas respostas relativamente aos fluxos de energia e desenvolvimento da vegetação.

O arquivo histórico do sensor Landsat permitiu ainda o estudo da evolução da paisagem desde 1979 através da classificação de três imagens: Landsat2 MSS de 30 de Abril de 1979, Landsat5 TM de 14 de Março de 1989 e Landsat7 ETM+ de 29 de Maio de 2002. Os resultados obtidos revelaram um aumento da fragmentação da paisagem particularmente no período entre 1979 e 1989, enquanto no período entre 1989 e 2002 se registou um aumento das áreas de lameiros e uma diminuição de outras áreas agrícolas, evidenciando uma especialização na actividade pecuária.

ABSTRACT

The mountain semi-natural meadows, locally called by “*lameiros*” represent an historical and cultural heritage of the landscape and agricultural systems of Northeast Portugal. Their role in the region’s economy and rural development is undoubtedly recognized. Also valued are their ecological functions. Nevertheless, the population ageing in this mountain region along with the way out of the young people to the big cities and the foreseen limitation to the water use constitutes limiting factors to the conservation of these meadows in a medium-long term.

In this context it was developed a monitoring study of “*lameiros*” from Montalegre through remote sensing. Several satellite sensors with different spatial and temporal resolutions – SPOT (HRV, HRVIR and HRG), Landsat (TM and ETM+) and SPOT-VEGETATION – were considered to analyse the “*lameiros*” dynamics in different scales. The monitoring work also included direct observations over fields of “*lameiros*”, with periodic measurements of reflectance with a spectroradiometer, measurement of vegetation height and record of phenological stages. The reflectance data obtained with the different sensors was used to calculate the *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

The analysis of the correlation between the NDVIs obtained with spectroradiometer and with SPOT (HRV, HRVIR and HRG) and Landsat (TM and ETM+) highlighted the adequacy of these satellite sensors for the “*lameiros*” monitoring at field level during most of the year (from mid Spring to mid Autumn). The results also show that these satellite sensors allow distinguishing between irrigated and non irrigated “*lameiros*” mainly in the periods of the year when the water is a limiting factor. The analysis of the NDVIs obtained with SPOT-VEGETATION and with spectroradiometer also showed a correlation statistically significant ($R^2=0.49$; $n=33$; $p<0.01$). The correlation between the NDVIs obtained with this same sensor and the vegetation height measured at the fields was also significant ($R^2=0.52$; $n=35$; $p<0.01$). Considering the high temporal resolution of SPOT-VEGETATION, this sensor was used to infer the intra and inter-annual dynamics of the vegetation in these mountain meadows. The NDVI profile built with the data derived from this sensor showed a good relation with the characteristic vegetation growth dynamics and respective management practices. Nevertheless there were some field-to-satellite scaling problems. The analysis of the inter-annual variation in “*lameiros*” inferred from SPOT-VEGETATION showed a correlations statistically significant between the temperature and the average NDVI during the growing season ($r>0.74$; $n=11$; $p>0.01$). The relation between the temperature (and reference

evapotranspiration) and the occurrence data for the maximum vegetation development was also statistically significant.

In another approach, the Landsat images were used to apply the *Mapping Evapotranspiration at high Resolution using Internalized Calibration* (METRIC) model that estimates the evapotranspiration through the surface energy balance. This model allowed inferring the spatial and temporal distribution of the evapotranspiration in “lameiros” and in the other elements of the Montalegre’s landscape in the Spring-Summer period. The evapotranspiration values for irrigated “lameiros” varied between 2.07 mm d⁻¹ in the image from September 2nd and 4.48 mm d⁻¹ in the image from June 22nd. In the non irrigated “lameiros” the evapotranspiration varied between 1.87 mm d⁻¹ in the image from September 2nd and 3.89 mm d⁻¹ in the image from June 22nd. It was also possible to get a first approach to the crop coefficients for “lameiros” with different water regimes in that same period.

Data derived from METRIC, namely the components of the energy balance, along with NDVI and surface temperature data were also used in the identification and characterization of the main land cover types (LCT) in the region. The combination between NDVI, evapotranspiration, surface temperature and soil heat flux for the Landsat images from May and June allowed the discrimination between the LCT (93% of accuracy) and the characterization of the LCT considering their response to the energy fluxes and vegetation growth.

The Landsat historical archive also allowed the study of the landscape evolution since 1979 through the classification of three images: Landsat2 MSS from April 30th 1979, Landsat5 TM from March 14th 1989 and Landsat7 ETM+ from May 29th 2002. The results showed an increase of the landscape fragmentation, mainly between 1979 and 1989. Between 1989 and 2002 the area of “lameiros” increased and the other agricultural areas decreased highlighting the specialization in the livestock production.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	27
2. ESTADO DA ARTE	31
2.1 A REGIÃO DE TRÁS-OS-MONTES, O BARROSO, MONTALEGRE	31
2.1.1 Caracterização fisiográfica e edafoclimática	31
2.1.2 Sistema agrário do Barroso	36
2.1.3 Modelo de organização do espaço rural	40
2.2 OS LAMEIROS	41
2.2.1 Caracterização	41
2.2.2 A rega tradicional nos lameiros.....	45
2.2.3 Gestão dos lameiros: práticas culturais.....	51
2.2.3.1 <i>Gestão da erva/feno e do pastoreio</i>	51
2.2.3.2 <i>Fertilização e controlo de infestantes</i>	52
2.2.4 Multifuncionalidade dos lameiros	53
2.4 DETECÇÃO REMOTA	56
2.4.1 Aplicabilidade	56
2.4.2 Características dos sensores	57
2.4.3 Índices de vegetação	60
2.4.4 Estimativa da evapotranspiração através da detecção remota.....	63
2.5 CARACTERIZAÇÃO, MAPEAMENTO E ANÁLISE DA PAISAGEM.....	66
2.5.1 Técnicas de caracterização e mapeamento da vegetação e da paisagem.....	66
2.5.2 Técnicas de classificação de imagem	68
2.5.3 Estrutura da paisagem.....	70
3. MATERIAL E MÉTODOS	73
3.1.1 Caracterização da área de estudo.....	73
3.1.2 Locais de estudo	75
3.1.3 Caracterização da vegetação	78
3.1.4 Dados meteorológicos	79

3.2.1	Medições com espectralímetro portátil.....	80
3.2.2	Dinâmica da vegetação e fenologia.....	81
3.3.1	Sensores Landsat (TM e ETM+) e SPOT (HRV, HRVIR e HGR).....	82
3.3.2	Sensor SPOT-VEGETATION.....	85
3.3.3	Comportamento dos diferentes sensores na monitorização dos lameiros.....	87
3.5.1	Algoritmos de cálculo do METRIC.....	90
3.5.2	Dados de satélite usados na aplicação do METRIC.....	93
3.5.3	Processamento dos dados meteorológicos e de vegetação.....	93
3.5.4	Aplicação dos algoritmos do METRIC para a área de estudo.....	95
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	107
4.1	RESOLUÇÃO DOS SENSORES NA MONITORIZAÇÃO DOS LAMEIROS.....	107
4.1.1	Sensores Landsat (TM e ETM+) e SPOT (HRV, HRVIR, HRG).....	107
4.1.2	Sensor SPOT-VEGETATION.....	111
4.2	DINÂMICA INTRA-ANUAL DA VEGETAÇÃO DOS LAMEIROS AVALIADA ATRAVÉS DA DETECÇÃO REMOTA.....	113
4.3	DINÂMICA INTER-ANUAL DA VEGETAÇÃO DOS LAMEIROS AVALIADA ATRAVÉS DE DETECÇÃO REMOTA.....	116
4.4	ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM LAMEIROS ATRAVÉS DE DETECÇÃO REMOTA. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO METRIC.....	120
4.5	CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS DA PAISAGEM ATRAVÉS DO MODELO METRIC.....	127
4.6	CLASSIFICAÇÃO E MÉTRICAS DA PAISAGEM.....	133
4.6.1	Classificação das imagens e mapeamento da paisagem.....	133
4.6.2	Métricas da paisagem.....	144
4.6.2.1	<i>Métricas de área calculadas para os níveis mancha e classe.....</i>	<i>144</i>
4.6.2.2	<i>Métricas de forma calculadas para o nível classe.....</i>	<i>151</i>
4.6.2.3	<i>Métricas de contágio e difusão calculadas para o nível classe.....</i>	<i>152</i>
4.6.2.4	<i>Métricas para o nível da paisagem.....</i>	<i>153</i>
4.6.2.5	<i>Métricas da paisagem – síntese.....</i>	<i>155</i>

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	157
5.1 CONCLUSÕES	157
5.2 PERSPECTIVAS	159
6. BIBLIOGRAFIA.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização da região de Trás-os-Montes no Nordeste de Portugal, incluindo as unidades de nível três (NUTSIII) “Alto Trás-os-Montes” e “Douro”. Identificação da região do Barroso.	32
Figura 2.2 – Diagrama de classificação do índice de Emberger (I_E) para vários concelhos da região de Trás-os-Montes e sua projecção no mapa. Dados da série climatológica 1951-1980.	33
Figura 2.3 – Classes e subclasses de solo no Alto Trás-os-Montes e Douro (NUTsIII). Fonte: Carta de solos (1:1000000), em formato digital pelo Atlas do Ambiente Digital – Instituto do Ambiente.	35
Figura 2.4 – Fluxos entre componentes dos sistemas de produção predominantes na agricultura de montanha do Nordeste de Portugal (adaptado de Pôças et al. 2009b).	36
Figura 2.5 – Evolução do gado bovino, ovino e caprino em Trás-os-Montes, de 1854 a 1999.	38
Figura 2.6 – Evolução percentual da área de prados e pastagens permanentes por área de SAU, no período 1989 – 1999, nos concelhos de Alto Trás-os-Montes (NUTIII) (INE 2001).	42
Figura 2.7 – A água de rega é derivada a partir de cursos de água (A) e fontes de água subterrânea. (B_1 e B_2) Sifão tradicional, feito de pedra, usado para controlar a distribuição da água para os canais de encosta. Quando o reservatório está cheio a água flui do orifício 1 (próximo do reservatório) para o orifício 2 (B_2) do sifão, derivando a água para o canal de encosta (regueira).	46
Figura 2.8 – (A) Lameiro em que se observa a rede de canais – regueiras – através da qual é aplicada a água. (B) Pormenor de um lameiro em que a rede de canais inclui pequenos canais adicionais – tralhas – para garantir uma maior uniformidade de distribuição da água na pastagem.	47
Figura 2.9 – Esquema do ciclo de utilização da água (“aviação da água”) numa secção de lameiros na aldeia de Paredes do Rio (Montalegre), definido em 1953 e actualmente em vigor.	49

Figura 2.10 – Evolução da população nos distritos de Vila Real (VR) e Bragança (B), em Trás-os-Montes, e percentagem de indivíduos do sexo masculino, no período entre 1864 e 2000 (DGE 1915; INE 1943, 1954, 1970a, 1984, 2002).....	54
Figura 2.11 – Curva de reflectância construída a partir de dados obtidos em lameiros em 23 de Outubro de 2008.....	61
Figura 3.1 – Mapa de declives (a) e de orientação (b) construídos a partir do modelo digital do terreno, DEM (pixel 30 m).	74
Figura 3.2 – Valores médios da precipitação (R, mm); número de dias de geada por mês; temperatura média (T _{média} , °C) e temperatura mínima (T _{min} , °C) de Montalegre no período 1951-1980 (INMG 1991).....	75
Figura 3.3 – (a) Ortofotomapa de Montalegre (escala 1/10000) de Março de 2003 com identificação dos locais – Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT) – e parcelas de estudo – parcelas de regadio (LMR) e parcelas de sequeiro – (LMS) – definidos para o estudo com espectralradiómetro, SPOT (HRV, HRVIR e HGR) e Landsat (TM e ETM+); (b) parcela definida em Paredes do Rio (PRR) para estudo com o sensor SPOT-VEGETATION, incluindo a identificação das parcelas de regadio e sequeiro definidas para estudo com os demais sensores (indicadas a vermelho); (c) parcela definida em Salto (SLT) para estudo com o sensor SPOT-VEGETATION, incluindo a identificação das parcelas de regadio e sequeiro definidas para estudo com os demais sensores (indicadas a azul).....	76
Figura 3.4 – Histograma do padrão sazonal do coeficiente de variação da média do NDVI em cada parcela de estudo: Paredes do Rio (PRR, 2x2 pixéis) e Salto (SLT; 3x2 pixéis). ...	86
Figura 3.5 – Esquema simplificado dos algoritmos do METRIC para zonas de montanha, baseados em Allen et al. (2007b; 2007c).....	91
Figura 4.1 – Relação entre a altura da vegetação medida em campo e o NDVI derivado pelo espectralradiómetro (a) ou pelo VGT (b), em ambos os locais de estudo (PRR e SLT). 111	111
Figura 4.2 – Modelo de regressão entre o NDVI derivado do espectralradiómetro (NDVI _{Sp}) e do sensor VEGETATION (NDVI _{VGT}), incluindo dados de ambos os locais de estudo e para o período entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008: a) linha a tracejado: considerando todos os pontos do período em estudo; b) linha contínua: excluindo os pontos correspondentes ao período de corte do feno em PRR (pontos brancos).....	112

- Figura 4.3 – Evolução temporal do NDVI médio (1998-2008), dinâmica da vegetação e práticas culturais nos dois locais de estudo (Paredes do Rio – PRR – e Salto – SLT). As barras verticais correspondem a metade do intervalo de confiança das médias do NDVI com probabilidade de 95%. São identificados: IDV – início do desenvolvimento vegetativo; MDV – máximo desenvolvimento vegetativo; RVG – recrescimento da vegetação após fenação; PG – início do pastoreio do gado; CR – corte da rega antecedendo a fenação; CF – corte do feno. 114
- Figura 4.4 – Perfil do NDVI em 2008 para os dois locais de estudo (PRR e SLT) comparando os resultados obtidos a partir do VGT ($NDVI_{VGT}$) e do espectrorradiômetro ($NDVI_{Sp}$) 115
- Figura 4.5 – Relação entre a temperatura e o $NDVI_{VGT}$ médio do período de desenvolvimento para 1998-2008, nos dois locais de estudo (Paredes do Rio – PRR e Salto – SLT). 118
- Figura 4.6 – Mapas da fracção da evapotranspiração de referência ($E_{TrF_{24h}}$), com a identificação de uma parcela de estudo de lameiros de regadio () e de lameiros de sequeiro () em Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT), para: (a) 29 de Maio; (b) 22 de Junho; (c) 2 de Setembro. As linhas brancas delimitam as áreas representadas no mapa de uso do solo e com correspondência a: LMR – lameiros de regadio; BLD – baldios; CS/LMS – culturas de sequeiro e lameiros de sequeiro; MF – matas de folhosas. 122
- Figura 4.7 – Coeficientes culturais derivados a partir dos $E_{TrF_{24h}}$ estimados para as imagens Landsat de 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 Setembro através do modelo METRIC. 126
- Figura 4.8 – Estimativa da evapotranspiração diária ($mm\ d^{-1}$) em lameiros de regadio e sequeiro no período entre 29 de Maio de 2002 e 2 de Setembro de 2002, obtida a partir dos valores de evapotranspiração (ET_{24h}) estimados para as imagens Landsat de 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 Setembro através do modelo METRIC. 127
- Figura 4.9 – Resultados da projecção da análise em componentes principais, de acordo com os três primeiros componentes (eixos x, y e z, respectivamente). A análise considerou a combinação das imagens de Maio (“29M”) e Junho (“22J” e “30J”) e das variáveis NDVI, ET, $T_{S_{DEM}}$ e G. MR, MF, BLD, CS e LMR representam as matas de resinosas, matas de folhosas, baldios, culturas de sequeiro e lameiros de regadio, respectivamente. 132
- Figura 4.10 – Histogramas representativos da resposta espectral na classe lameiros para a imagem de 1989. 136

Figura 4.11 – Histogramas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat de 14 de Março de 1989.....	138
Figura 4.12 – Mapas de classificação da paisagem, após aplicação do filtro “majority” 3x3, obtidos para as imagens de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.....	143
Figura 4.13 – Evolução da área total de prados e pastagens e de outras culturas (em cultura principal) em Montalegre, de acordo com dados dos recenseamentos da agriculturas (INE 1979, 2001), e da área de lameiros e de outra agricultura de acordo com os resultados da classificação das imagens.....	145
Figura 4.14 – Número de manchas (NP) com menos de 0.5 ha por classe de vegetação, em valor percentual. VAB – vegetação arbustiva baixa; VAD – vegetação arbustiva densa; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; MF – matas de folhosas; MR – matas de resinosas; LM – lameiros; OA – outra agricultura.....	149
Figura 4.15 – Número de manchas (NP) por classe de área e por classe de vegetação, em valor percentual. VAB – vegetação arbustiva baixa; VAD – vegetação arbustiva densa; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; MF – matas de folhosas; MR – matas de resinosas; LM – lameiros; OA – outra agricultura.	150

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Resumo de índices fitoclimáticos calculados para diversos locais da região de Trás-os-Montes a partir de séries de 30 anos de dados climáticos (INMG 1965, 1991).	34
Quadro 2.2 – Tipologia dos lameiros de acordo com a sua disponibilidade de água.....	43
Quadro 2.3 – Principais unidades pedológicas, associações vegetais e tipos de lameiros quanto à disponibilidade de água e aproveitamento.....	45
Quadro 2.4 – Temperatura da água de rega ($T_{\text{água}}$) na origem e em vários pontos ao longo do seu trajecto, comparada com a temperatura do ar (T_{ar}) e a temperatura da vegetação não regada (T_{veg}) (adaptado de Gonçalves 1985).....	48
Quadro 2.5 – Sistemas tradicionais de regadio associados a prados e pastagens de montanha em diversas regiões do mundo.....	50
Quadro 2.6 – Resumo das características de alguns dos sensores mais usados em diferentes tipos de aplicações.....	58
Quadro 2.7 – Métodos tradicionais de classificação, suas características e algoritmos mais frequentemente utilizados para a classificação da vegetação.....	69
Quadro 2.8 Processos de classificação de acordo com o tipo de informação de pixel usada ..	70
Quadro 3.1 – Parcelas de estudo de regadio (LMR) e sequeiro (LMS) em Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT), definidas para estudo com espectrorradiómetro, SPOT (HRV, HRVIR e HRG) e Landsat (TM e ETM+), e respectivos pontos de medição.....	77
Quadro 3.2 – Dinâmica da vegetação, fenologia e práticas culturais características dos principais tipos de coberto do solo da paisagem de Montalegre	78
Quadro 3.3 – Resolução espacial e datas de aquisição das imagens de satélites estudadas.....	82
Quadro 3.4 – Número de pixéis considerados na análise de adequabilidade de sensores, por parcelas de estudo de regadio (LMR) e sequeiro (LMS) em Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT)	84
Quadro 3.5 – Procedimento para definição das métricas básicas e derivadas de $NDVI_{\text{VGT}}$, em função das condições da vegetação em lameiros aferidas por informação recolhida no campo	89

Quadro 3.6 – Classes definidas no Mapa de Uso do Solo e sua correspondência com os tipos de coberto do solo considerados na aplicação do METRIC.....	95
Quadro 3.7 – Número de pixéis por parcela em cada um dos locais de estudo (Paredes do Rio – PRR e Salto – SLT).....	99
Quadro 3.8 – Rigor da separabilidade para diferentes intervalos de valor de separabilidade (PCI_Geomatica 2001; Richards e Jia 2006).....	104
Quadro 3.9 – Métricas usadas na caracterização do mosaico paisagístico de Montalegre....	106
Quadro 4.1. Valores médios e coeficiente de correlação (r) entre os valores mensais de NDVI normalizado (NDVI _{corr}) obtidos pelo espectralradiómetro (Sp) e por diferentes sensores de satélite (Sat) entre Julho de 2007 e Junho de 2008.....	108
Quadro 4.2. Comparação dos valores de NDVI médios (n=3) obtidos pelos diferentes sensores e espectralradiómetro, em lameiros de regadio (LMR) e lameiros de sequeiro (LMS) em Salto.....	109
Quadro 4.3 – Valores médios e coeficientes de variação (entre parêntesis) do NDVI e variáveis climáticas durante o período de desenvolvimento da vegetação e o período seco e as estações de Inverno e Primavera, para os anos 1998-2008, em ambos os locais de estudo (PRR e SLT)	117
Quadro 4.4 – Matriz de correlação de Pearson para as métricas do NDVI (valor e tempo) e variáveis meteorológicas para os dois locais de estudo e para o período 1998-2008....	117
Quadro 4.5 – Estatísticas descritivas dos produtos intermédios e finais do METRIC para cada uma das quatro imagens de satélite (Landsat) consideradas e para cada tipo de coberto do solo (LCT).....	121
Quadro 4.6 – Rigor global e coeficiente Kappa obtidos no processo de discriminação entre LCT para as melhores combinações de variáveis testadas para cada imagem individualmente e para grupos de imagens: todas as imagens *, imagens de Maio e Junho** e imagens de Maio e Setembro, imagens de Junho e Setembro e imagens de Maio e Junho.....	129
Quadro 4.7 – Matriz de confusão para a discriminação entre LCT obtida pela combinação de NDVI-ET-T _{SD} EM-G e usando uma combinação de três imagens (29 de Maio, 22 de Junho e 30 de Junho).	130

Quadro 4.8 – Classes definidas para a classificação das imagens e respectivas áreas de treino em Montalegre	134
Quadro 4.9 – Resultados de separabilidade obtidos na fase de treino para as imagens Landsat de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002, utilizando a distância Bhattacharrya.	135
Quadro 4.10 – Matrizes de confusão, em valores percentuais, definidas sobre as áreas de treino no processo de classificação das imagens de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.....	137
Quadro 4.11 – Áreas de validação dos resultados da classificação em Montalegre, em cada classe e imagem	139
Quadro 4.12 – Matrizes de confusão, em valores percentuais, definidas sobre as áreas de validação no processo de classificação das imagens de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.	140
Quadro 4.13 – Matrizes de confusão, em valores percentuais, definidas sobre as áreas de validação das imagens classificadas com filtro “ <i>majority</i> ” (3x3) de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.....	141
Quadro 4.14 – Rigor global e coeficiente Kappa obtidos para as áreas de validação, das imagens classificadas de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002, após aplicação de filtro <i>majority</i> com janela 3x3, 1x3 e 3x1	142
Quadro 4.15 – Evolução da área total das onze classes de uso do solo, obtida através do processo de classificação, no período de 1979 a 2002.....	144
Quadro 4.16 – Número de manchas (NP) para as diversas classes, valor médio e respectivo coeficiente de variação (CV), no período de 1979 a 2002.	149
Quadro 4.17 – Índices de área média e da mancha maior para as diversas classes, valor médio e respectivo coeficiente de variação (CV), no período de 1979 a 2002.....	151
Quadro 4.18 – Índice de forma (média ponderada) (> 1) – SHAPE_AM – para as diversas classes, no período de 1979 a 2002.....	152
Quadro 4.19 – Valores do índice de difusão e justaposição (IJ), índice de divisão da paisagem (DIVISION) e índice de agregação (AI) obtidos para as imagens classificadas de 1979, 1989 e 2002.....	153

Quadro 4.20 – Métricas calculadas para o nível da paisagem a partir dos resultados da classificação das imagens de 1979, 1989 e 2002.....	154
--	-----

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AG	Água
AI	Índice de agregação
ALEXI	<i>Atmosphere–Land Exchange Inverse model</i>
AREA_MN	Área média da mancha
BLD	Baldios
CA	Área total da classe
CIMEC	<i>Calibration using inverse modelling at extreme conditions</i>
CLC	<i>CORINE Land Cover</i>
CONTAG	Contágio
CS	Culturas de sequeiro
CV	Coefficiente de variação
DEM	Modelo digital do terreno (<i>Digital elevation model</i>)
DIVISION	Índice de divisão da paisagem
DN	Número digital
DOP	Denominação de origem protegida
DOY	Dia do ano
DR	Detecção remota
ESUN _λ	Irradiância solar exoatmosférica média
ET	Evapotranspiração
ET _{inst}	Evapotranspiração instantânea
ET _{24h}	Evapotranspiração diária
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
ET _o	Evapotranspiração de referência considerando como cultura de referência um relvado
ET _r	Evapotranspiração de referência considerando como cultura de referência a luzerna
ET _{rF}	Fracção da evapotranspiração de referência
FMIS	<i>Farmer-managed irrigation system</i>
HRG	<i>High Resolution Geometric</i>
HRV	<i>Visible High-Resolution</i>
HRVIR	<i>Visible & Infrared High-Resolution</i>
IDV	Início do desenvolvimento vegetativo
IFOV	Campo angular da câmara (<i>Field of view</i>)
IJI	Índice de difusão/Justaposição
IV	Índice de vegetação
K _c	Coefficiente cultural
LAI	Índice de área foliar
LCT	Tipo de coberto do solo (<i>Land Cover Type</i>)
LE	Fluxo de calor latente
LM	Lameiros

LMR	Lameiros de regadio
LMS	Lameiros de sequeiro
LPI	Índice da mancha maior
LST	Temperatura da superfície da terra
MDV	Máximo desenvolvimento vegetativo
METRIC	<i>Mapping Evapotranspiration at high Resolution using Internalized Calibration</i>
MF	Matas de folhosas
MR	Matas de resinosas
MS	Multiespectral (banda)
MS	Matéria seca
MSS	<i>Multispectral Scanner</i>
MVC	<i>Maximum Value Compositing</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
<i>NDVICorr</i>	NDVI normalizado
NIR	Infravermelho próximo
NP	Número de manchas
OA	Outra agricultura
PAC	Política agrícola comum
PAN	Pancromática (banda)
PCA	Análise em componentes principais
PD	Período de desenvolvimento
PRR	Paredes do Rio
PS	Período seco
RA	Recenseamento da agricultura
RED	Banda do vermelho
RGA	Recenseamento geral da agricultura
RN	Rocha nua
RVG	Primeiro re-crescimento da vegetação após o corte para feno
Sat	Sensor de satélite
SAU	Superfície Agrícola Útil
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SD	Desvio padrão
SEB	Balanço de energia ao nível da superfície
SEBAL	<i>Surface Energy Balance Algorithm for Land</i>
SES	Sistema sócio ecológico (<i>Social ecological system</i>)
SHAPE_AM	Índice da forma (média ponderada)
SHAPE_MN	Índice da forma (média)
SIDI	Índice de diversidade de Simpson
SIEI	Índice de equitabilidade de Simpson
SIG	Sistemas de informação geográfica

SLT	Salto
SMA	Análise de mistura espectral
Sp	Espectroradiómetro
SWIR	Infravermelho de curto comprimento de onda
T _s	Temperatura de superfície do solo
T _{SDEM}	Temperatura de superfície ajustada à modelação do terreno
TSEB	<i>Two-Source Energy Balance</i>
URB	Áreas urbanizadas
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VA	Vegetação arbustiva pouco densa
VAD	Vegetação arbustiva densa
VAB	Vegetação arbustiva baixa
VE	Vegetação esparsa
VGT	SPOT-VEGETATION
VITO	<i>Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek</i>
ρ	Reflectância planetária
ρ_{NIR}	Reflectância na banda do infravermelho próximo
ρ_{red}	Reflectância na banda do vermelho
θ_s	Ângulo zenital solar
B _{rescale}	Factor de re-escalamento para cada banda, correspondente ao desvio do sensor
c _p	Calor específico do ar
d	Distância terra-sol
dT	Diferença de temperatura de duas alturas verticais próximo da superfície
G	Fluxo de calor do solo
Gain	Ganho do sensor
G _{rescale}	Factor de re-escalamento para cada banda, correspondente ao ganho do sensor
H	Fluxo de calor sensível
I	Índice de Patterson
I _E	Índice de Emberger
J _{ij}	Distância Bhattacharyya
K _{ratio}	Razão entre a ETr e a ETo
L	Constante ajustada em função das características do solo
L _λ	Radiância espectral na abertura do sensor
n	Número total de observações
n _{+k}	Número de observações por coluna (na matriz de confusão)
n _{k+}	Número de observações por linha (na matriz de confusão)
n _{kk}	Elementos da diagonal principal da matriz de confusão
Offset	Desvio do sensor
p(w _i)	Probabilidade <i>à priori</i>

$p(w_i x)$	Probabilidade de a classe correcta a atribuir ao pixel na posição x ser w_i
$p(x w_i)$	Probabilidade de encontrar um pixel da classe w_i na posição x
Q	Temperatura média das máximas do mês mais quente
q	Temperatura média das mínimas do mês mais frio
Q_{cal}	Valor do pixel calibrado em números digitais
R	Precipitação
r_{ah}	Resistência aerodinâmica para o transporte de calor
$R_{L\uparrow}$	Radiação solar emitida de longo comprimento de onda
$R_{L\downarrow}$	Radiação solar recebida de longo comprimento de onda
R_n	Radiação líquida
$R_{S\downarrow}$	Radiação solar recebida de curto comprimento de onda
T	Temperatura
Y	Índice de produtividade florestal potencial
λ	Calor latente de vaporização
λE	Calor latente
φ	Latitude
ρ	Densidade do ar

ANEXOS:

AM	Média ponderada
ARVI	<i>Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>
BGI	<i>Blue/Green Pigment Index</i>
BNDV	<i>Blue NDVI</i>
BRI	<i>Blue/Red Pigment Index</i>
CLUMPY	Índice de <i>Clumpiness</i>
COHESION	Índice de coesão das parcelas
CONTIG	Índice de contiguidade
DVI	<i>Difference Vegetation Index</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
FRAC	Índice de dimensão fractal
GBNDVI	<i>Green-Blue NDVI</i>
GNDVI	<i>Green NDVI</i>
GRNDVI	<i>Green-Red NDVI</i>
GVI	<i>Greenness Vegetation Index</i>
GYRATE	<i>Radius of gyration</i>
ID	Identificação
IPVI	<i>Infrared Percentage Vegetation Index</i>
LSI	Índice de forma da paisagem
MCARI	<i>Modified chlorophyll absorption ratio index</i>
MCARI1	<i>Modified chlorophyll absorption ratio index 1</i>
MCARI2	<i>Modified chlorophyll absorption ratio index 2</i>

MD	Mediana
MESH	Tamanho efectivo da malha
MN	Média
MSAVI	<i>Modified Soil Adjusted Vegetation Index</i>
MSIDI	Índice de diversidade de Simpson modificado
MSIEI	Índice de equitabilidade de Simpson modificado
MSR	<i>Modified simple ratio</i>
MTVI1	<i>Modified Triangular Vegetation Index</i>
MTVI2	<i>Improved Modified Triangular Vegetation Index</i>
NLSI	Índice de forma da paisagem normalizado
PARA	Razão perímetro-área
PARAFRAC	Dimensão fractal perímetro-área
PB	Proteína bruta
PD	Densidade da parcela
PLADJ	<i>Proportion of Like Adjancies</i>
PLAND	Percentagem da paisagem
PNDVI	<i>Pan NDVI</i>
PR	Riqueza de parcelas
PRI	<i>Photochemical Reflectance Index</i>
PVI	<i>Perpendicular vegetation index</i>
RA	Amplitude
RBNDVI	<i>Red-Blue NDVI</i>
RDVI	<i>Renormalized Difference Vegetation Index</i>
RGI	<i>Red/Green Pigment Index</i>
RMS	<i>Root mean square</i>
SARVI	<i>Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>
SHDI	Índice de diversidade de Shannon
SHEI	Índice de equitabilidade de Shannon
SPLIT	Índice de separação
SR	<i>Simple Ratio Index</i>
TCARI	<i>Transformed chlorophyll absorption ratio index</i>
TCARI/OSAVI	<i>Transformed chlorophyll absorption ratio index/optimized soil-adjusted vegetation index</i>
TSAVI	<i>Transformed Soil Adjusted Vegetation Index</i>
TVI	Triangular Vegetation Index
WDRVI	<i>Wide dynamic range vegetation index</i>
WDVI	<i>Weighted Difference Vegetation Index</i>
ZTM	<i>Zarco e Miller Index</i>

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste de Portugal é caracterizado por uma paisagem rural de montanha, em que se evidencia a interacção milenar entre o homem e o ambiente. Esta paisagem reflecte uma profunda ligação com os sistemas agrícolas característicos da região, evidenciando-se ainda hoje a herança cultural associada à figura do pastor e do produtor de gado através do predomínio de extensas áreas de pastagens e de pastoreio – lameiros e baldios.

Desde tempos remotos que os lameiros representam um elemento fundamental não só na paisagem, mas também na economia do agricultor transmontano e, de modo particular, do agricultor barrosão. Efectivamente, na região do Barroso (Montalegre e Boticas), a produção de gado apresenta-se hoje, assim como no passado, como o ponto basilar da actividade agrícola, sustentada em grande medida pelos lameiros e complementada com o pastoreio em terras de uso comunitário, os baldios.

Intimamente associado aos lameiros surge um sistema de regadio tradicional, que conduz a água desde a sua origem até a estas pastagens, reencaminhando posteriormente a água em excesso. Embora a rega represente um papel fulcral na gestão dos lameiros, a informação quanto ao uso e consumo de água é, de modo geral, inexistente. A obtenção de um balanço hídrico ou a utilização de sistemas convencionais de estimação da evapotranspiração são particularmente complexas e difíceis em zonas de montanha e em particular nos lameiros, contribuindo para a escassez de dados.

A emigração e o envelhecimento da população nas regiões interiores do País, desde meados do século XX, associada ao aumento da competição pelo uso da água, com eventuais consequências sobre o acesso à água e sua gestão, fazem antever um cenário de profundas alterações na agricultura. No último recenseamento da agricultura, em 1999, a percentagem de produtores com mais de 55 anos era de 68% na região agrária de Trás-os-Montes e, desta percentagem, 38% tinha mais de 65 anos (INE 2001). Os dados estatísticos apontam para um acentuar desta tendência de envelhecimento no último decénio, claramente limitando a população agrícola activa. Deste modo, a actividade agrícola tenderá a regredir na região, com consequências sobre a estrutura do mosaico paisagístico e sobre a conservação dos lameiros, caso não sejam consideradas e implementadas medidas estratégicas de desenvolvimento rural e económico e de incentivo à fixação das populações.

A definição deste tipo de estratégias deverá assentar num profundo conhecimento da dinâmica dos principais elementos caracterizadores da agricultura tradicional e das paisagens de

montanha do Nordeste de Portugal. Dada a importância dos lameiros na região – do ponto de vista económico, do desenvolvimento rural, ecológico, cultural e paisagístico –, a monitorização da sua dinâmica reveste-se de particular interesse. Nesta monitorização dever-se-ão incluir diversos componentes, nomeadamente a dinâmica intra e inter-anual dos lameiros, a sua caracterização em função de índices de vegetação e componentes do balanço de energia, a caracterização comparativa dos demais elementos que se interligam na paisagem da região e a evolução da paisagem nas últimas décadas.

A detecção remota apresenta-se como uma ferramenta com grande potencial para este tipo de monitorização atendendo à sua capacidade de recolha periódica de dados. A diversidade de sensores actualmente disponíveis permite a aplicabilidade desta tecnologia em diferentes áreas de estudo e em diferentes escalas espaço-temporais, tornando possível abordar diversas perspectivas na monitorização de lameiros.

A partir da informação obtida nesta monitorização poder-se-á inferir o impacto das práticas culturais aplicadas, da variabilidade climática, da disponibilidade de água, das políticas agrícolas definidas para a região nas últimas décadas, da evolução demográfica sobre os lameiros e, de modo mais abrangente, sobre os sistemas de agricultura e a paisagem.

Neste contexto, o trabalho de doutoramento apresentado definiu como objectivos:

- Estudar a evolução espacial das áreas de lameiros em Montalegre desde a década de 70 até à actualidade, recorrendo a imagens de satélite;
- Identificar e distinguir lameiros de regadio e sequeiro, por recurso à detecção remota, reconhecendo a sua inserção nos sistemas envolventes;
- Estimar e mapear a evapotranspiração em lameiros de regadio e de sequeiro, em períodos críticos de Primavera e de Verão recorrendo aos componentes do balanço de energia, definidos através da detecção remota;
- Estabelecer uma caracterização biofísica dos principais elementos caracterizadores da paisagem.

De seguida descreve-se o trabalho desenvolvido na prossecução destes objectivos. Na primeira parte desta dissertação é apresentada uma revisão do estado da arte acerca dos lameiros e seus regadios tradicionais e sua integração na agricultura e na paisagem de montanha do Barroso, no Nordeste de Portugal. São apresentados os factores potencialmente limitantes à conservação dos lameiros no médio-longo prazo e realçada a importância da sua

monitorização. Neste capítulo do estado da arte é ainda dado ênfase ao potencial da utilização da detecção remota para monitorização deste tipo de pastagens semi-naturais de montanha, realçando o interesse e aplicabilidade de diferentes tipos de sensores, com variadas resoluções espaciais e temporais.

No capítulo de material e métodos são apresentadas as áreas de estudo consideradas no concelho de Montalegre, os diversos sensores estudados e as metodologias aplicadas para desenvolver o processo de monitorização de lameiros, de acordo com os objectivos estabelecidos.

Os resultados obtidos pela aplicação das metodologias definidas são apresentados e discutidos no capítulo quatro, salientando a aplicabilidade dos vários sensores, tendo em consideração as suas resoluções espacial e temporal, para a concretização das diferentes perspectivas consideradas na monitorização.

No quinto capítulo são apresentadas as principais conclusões decorrentes do trabalho realizado e apontadas sugestões para linhas de investigação futuras no sentido de dar continuidade à monitorização de lameiros, introduzindo novas abordagens que poderão complementar os resultados já obtidos.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 A REGIÃO DE TRÁS-OS-MONTES, O BARROSO, MONTALEGRE

2.1.1 Caracterização fisiográfica e edafoclimática

A paisagem de montanha do Nordeste de Portugal resulta da interacção do homem sobre o seu ambiente natural, ao longo dos tempos, para ultrapassar as limitações de uma orografia acidentada e de um clima rigoroso. Na realidade, as paisagens rurais tradicionais de montanha reflectem frequentemente uma prolongada intervenção humana para progressivamente transformar uma terra de condições adversas numa fonte de produção de alimentos e outros bens necessários às populações de montanha (Calvo-Iglesias et al. 2008; Firmino 1999; Lasanta et al. 2006). Desta interacção resultam progressivas alterações que são visíveis na paisagem actual, perpetuando, na memória europeia, a presença do homem Neolítico, da civilização Romana e da vida medieval, bem como o impacto da introdução de novas culturas após a descoberta da América. A necessidade de ultrapassar as limitações fisiográficas para a agricultura, decorrentes das características das paisagens de montanha – declives acentuados, elevadas altitudes e topografias irregulares, com conseqüente rápida perda de água nos fundos de encosta (Beniston 2003) –, conduziram ao desenvolvimento de sistemas de regadio tradicionais, em combinação com práticas de conservação da água e do solo, com impacto na edificação da paisagem. Foram construídos diversos modelos de terraceamento da encosta e sistemas de canais de encosta para condução da água, de modo a possibilitar a prática da agricultura em zonas declivosas. Deste modo, por todo o mundo, a agricultura ancestral de montanha e os sistemas de regadio associados contribuíram para gradualmente dar forma a paisagens rurais muito heterogéneas.

No Nordeste de Portugal, e de modo específico na região do Alto Trás-os-Montes (Figura 2.1), a paisagem rural combina diversos tipos de uso do solo, organizados em pequenas propriedades e frequentemente fragmentadas. Este modelo de uso do solo é designado por Pinto-Correia e Vos (2004) como um sistema *hamlet* de pequena escala. No Alto Trás-os-Montes cerca de 85% dos blocos em explorações agrícolas tem área inferior a 1ha e nos concelhos do Barroso esta percentagem é ainda um pouco superior (90% em Montalegre e 93% em Boticas) (INE 2001).

A região de Trás-os-Montes é caracterizada por um relevo muito irregular, com formações montanhosas que atingem os 1200 – 1500 m de altitude – montanhas do Gerês, Cabreira, Padrela, Alvão e Marão.

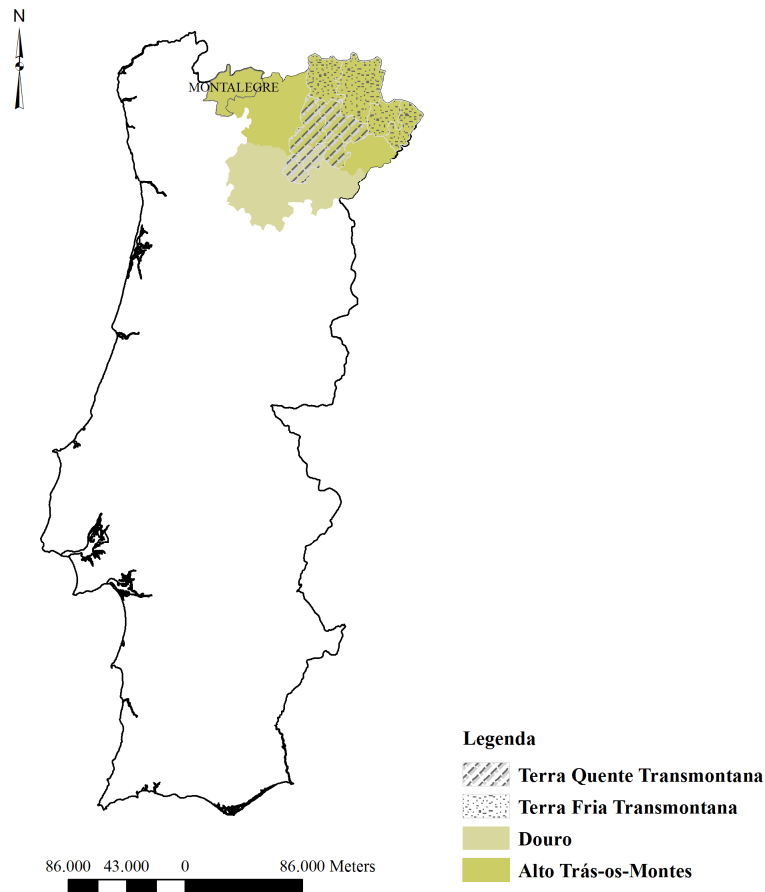


Figura 2.1 – Localização da região de Trás-os-Montes no Nordeste de Portugal, incluindo as unidades de nível três (NUTSIII) “Alto Trás-os-Montes” e “Douro”. Identificação da região do Barroso.

Estas formações montanhosas constituem uma barreira à influência Atlântica, favorecendo a ocorrência de Invernos frios e de Verões quentes e secos, condições que se acentuam nas zonas mais orientais da região. Deste modo, na parte mais ocidental do Nordeste transmontano, onde a influência Atlântica é ainda relevante, os níveis de precipitação são elevados e as temperaturas baixas. Por sua vez, na parte mais oriental de Trás-os-Montes prevalece a influência Mediterrânea, sendo possível a identificação de duas sub-zonas: Terra Quente Transmontana e Terra Fria Transmontana. A primeira é caracterizada por elevada amplitude térmica, com Verões de temperaturas elevadas e acentuada *secura*. A Terra Fria Transmontana apresenta valores de precipitação superiores aos da Terra Quente e temperaturas mais baixas no Inverno.

Estas sub-zonas dentro da região transmontana encontram correspondência com o índice de Emberger, I_E (Emberger 1942), frequentemente usado para caracterização climática (e.g. Mankolli et al. 2008; Planchon et al. 2008).

$$I_E = 100 * R / (Q^2 - q^2) \quad (2.1)$$

em que R é a precipitação média anual (mm), Q é a temperatura média das máximas do mês mais quente (°C) e q é a temperatura média das mínimas do mês mais frio (°C).

Do cálculo deste índice, usando as normais climatológicas de 1951-1980 de vários concelhos na região de Trás-os-Montes (INMG 1991), resulta que a região mais ocidental de Trás-os-Montes e concretamente Montalegre é classificada fora dos limites de influência Mediterrânea (Figura 2.2). A Terra Quente Transmontana, representada por Mirandela, é classificada com clima mediterrâneo semiárido, enquanto a Terra Fria Transmontana (Bragança e Miranda do Douro) é integrada num clima mediterrâneo temperado (Figura 2.2).

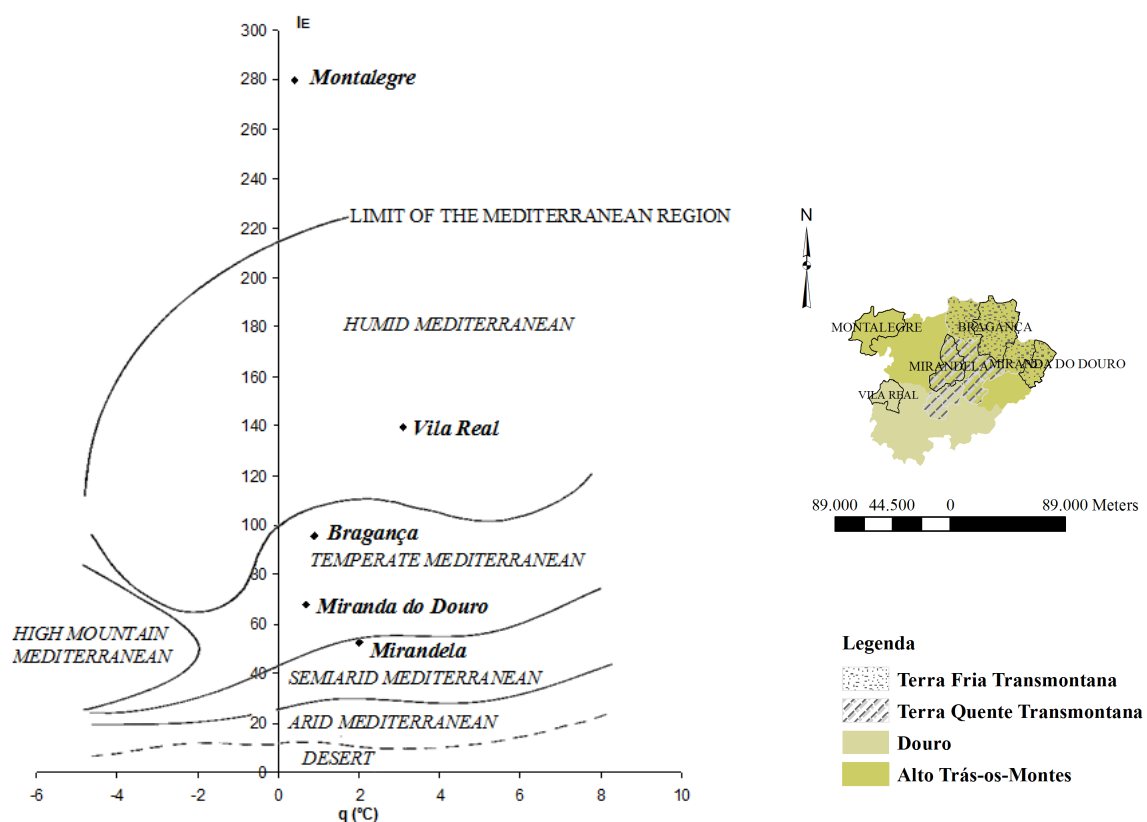


Figura 2.2 – Diagrama de classificação do índice de Emberger (I_E) para vários concelhos da região de Trás-os-Montes e sua projecção no mapa. Dados da série climatológica 1951-1980.

Na região de Trás-os-Montes é ainda possível distinguir uma zona de transição entre a Terra Fria e a Terra Quente, em que se integram Vila Real e Chaves, com temperaturas médias anuais entre os 12.5 °C e os 13.4 °C (valores intermédios relativamente aos registados na Terra Quente e na Terra Fria). No Quadro 2.1 é apresentado um resumo de alguns índices fitoclimáticos, incluindo índices de potencialidade agrícola e de produtividade florestal

determinados em função de variáveis meteorológicas, para diferentes locais em Trás-os-Montes.

Quadro 2.1 – Resumo de índices fitoclimáticos calculados para diversos locais da região de Trás-os-Montes a partir de séries de 30 anos de dados climáticos (INMG 1965, 1991).

Localidade, latitude e altitude	Classificação climática de Thornthwaite ¹	Índice de de Turc potencialidade agrícola (ton MS/ha) ²	Índices de Patterson (I) e produtividade florestal potencial (Y, m ³ /ha/ano) ³	Carta Bioclimática da FAO para a zona mediterrânea ⁴
Miranda do Douro φ: 41°31' N Altitude: 693m (1951–1980)	Clima sub-húmido; mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão; grande excesso de água no Inverno; concentração de eficiência térmica moderada	7.24	I = 47.9 Y = 1.51	Bioma: clima temperado; Tipo climático: xérico mediterrâneo; Subtipo climático: Mesomediterrâneo acentuado
Chaves φ: 41°45' N Altitude: 348m (1951–1980)	Clima sub-húmido; mesotérmico, com moderada deficiência de água no Verão; grande excesso de água no Inverno; concentração de eficiência térmica moderada	8.53	I = 76.6 Y = 2.59	Bioma: clima temperado; Tipo climático: xérico mediterrâneo; Subtipo climático: Submediterrâneo
Mirandela φ: 41° 29' N Altitude: 240m (1951–1980)	Clima sub-húmido; mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão; moderado excesso de água no Inverno; concentração de eficiência térmica moderada	7.97	I = 47.6 Y = 1.49	Bioma: clima temperado; Tipo climático: xérico mediterrâneo; Subtipo climático: Mesomediterrâneo acentuado
Montalegre φ: 41°49' N Altitude: 1005m (1951–1980)	Clima super-húmido; mesotérmico, nula ou pequena deficiência de água no Verão; grande excesso de água no Inverno; concentração de eficiência térmica moderada	11.3	I = 165.2 Y = 4.36	Bioma: clima temperado; Tipo climático: xérico mediterrâneo; Subtipo climático: Submediterrâneo
Vila Real φ: 41°19' N Altitude: 479m (1951–1980)	Clima húmido; mesotérmico, com moderada deficiência de água no Verão; grande excesso de água no Inverno; concentração de eficiência térmica nula ou pequena	12.6	I = 136.6 Y = 3.91	Bioma: clima temperado; Tipo climático: xérico mediterrâneo; Subtipo climático: Mesomediterrâneo atenuado
Bragança φ: 41°49' N Altitude: 720m (1951–1980)	Clima húmido; mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão; grande excesso de água no Inverno; concentração de eficiência térmica moderada	8.22	I = 72.7 Y = 2.46	Bioma: clima temperado; Tipo climático: xérico mediterrâneo; Subtipo climático: Mesomediterrâneo atenuado

¹(Thornthwaite 1948);

²(Turc 1961);

³(Gandullo and Serrada 1977);

⁴(UNESCO-FAO 1963).

Entre as localidades consideradas, é Montalegre (com precipitação média anual de 1531 mm e temperatura média anual de 9.6 °C) que apresenta o índice de produtividade florestal mais elevado e um dos valores mais altos do índice de potencialidade agrícola. Apenas Vila Real

apresenta um índice de potencialidade agrícola mais elevado. Por oposição, os menores valores para esses mesmos dois índices ocorrem para Miranda do Douro (com precipitação média anual de 555 mm e temperatura média anual de 12 °C) e para Mirandela (com precipitação média anual de 520 mm e temperatura média anual de 14.2 °C).

Os contrastes climáticos e orográficos no interior da região criam condições para a diversificação da paisagem e dos sistemas agrícolas, no que se refere à produção quer vegetal quer animal. Inclusivamente, a uma escala local, as variações bruscas do relevo, no seu declive e orientação, criam condições para a ocorrência de micro e meso-climas com repercussões nas especificidades da agricultura local e de uma série de habitats característicos da região.

Os solos de Trás-os-Montes são predominantemente constituídos a partir de granitos e rochas afins nas zonas do Tâmega e parte da região do Douro, por xistos e grauvaques, essencialmente na região de Alto Trás-os-Montes, e por xistos e grauvaques do complexo xisto-grauvácico na região do Douro, junto ao rio. As classes de solo predominantes são cambissolos húmicos e litossolos êutricos. Os cambissolos húmicos apresentam maior relevância no norte de Alto Trás-os-Montes, enquanto os litossolos êutricos predominam na zona do Douro e parte sul do Alto Trás-os-Montes (Figura 2.3).

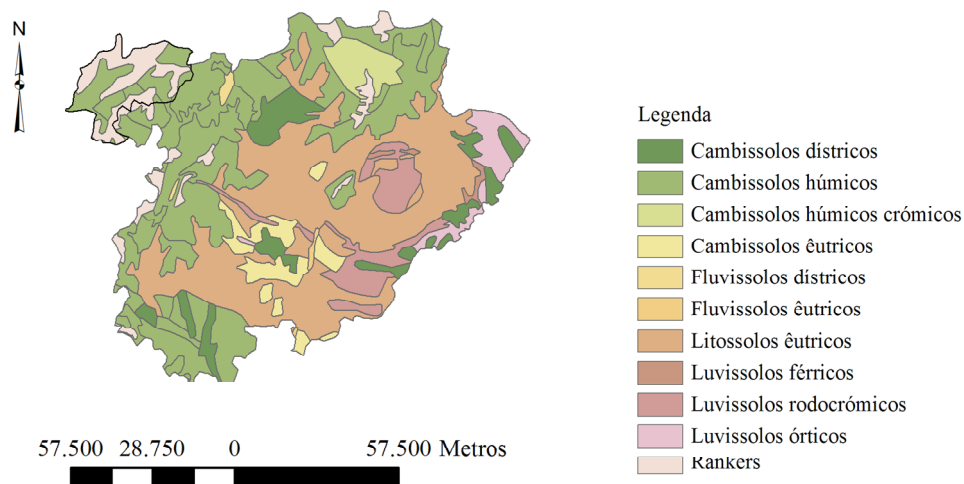


Figura 2.3 – Classes e subclasses de solo no Alto Trás-os-Montes e Douro (NUTsIII). Fonte: Carta de solos (1:1000000), em formato digital pelo Atlas do Ambiente Digital – Instituto do Ambiente.

No Barroso e de modo particular em Montalegre predominam as classes de cambissolos húmicos – solos moderadamente evoluídos e com elevado teor de matéria orgânica – e de

rankers – solos pouco evoluídos de complexo dessaturado, associados a elevadas altitudes e declives acentuados.

2.1.2 Sistema agrário do Barroso

Tal como noutras regiões de montanha europeias – e.g., Espanha (García-Ruiz et al. 1996; Vivas et al. 2009), Noruega (Olsson et al. 2000), Suécia (Ihse and Lindahl 2000), Suíça (Behringer et al. 2000), França (Mottet et al. 2006; O'Rourke 2006), Áustria (Fleury et al. 2004) e Itália (Leibundgut 2004) –, a paisagem de montanha transmontana está historicamente relacionada com os sistemas de agricultura tradicionais da região, em grande medida baseados na produção de gado e na produção de cereais (Capela et al. 2006; Marques 1998; Taborda 1932). Deste modo surge um mosaico paisagístico onde se inter-relacionam pastagens ancestrais – lameiros (pastagens semi-naturais de montanha) e baldios (pastagens comunitárias) –, áreas agrícolas (searas de centeio, parcelas de cultivo de batata, hortas, ...), giestais e matas, e onde os animais, particularmente os bovinos, se apresentam como um elemento chave dos fluxos de matéria entre os componentes do sistema (Figura 2.4).

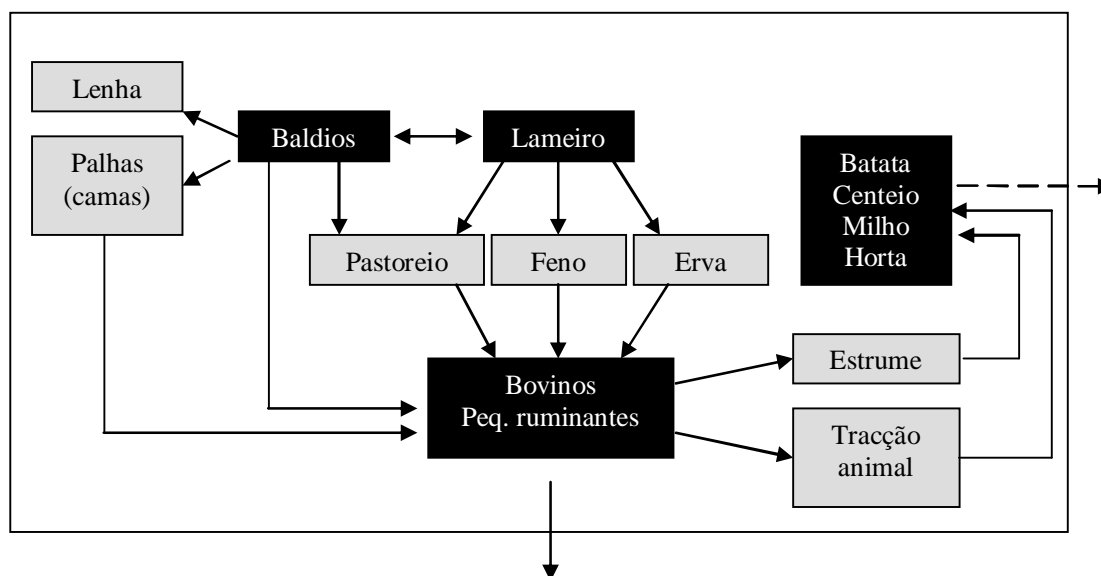


Figura 2.4 – Fluxos entre componentes dos sistemas de produção predominantes na agricultura de montanha do Nordeste de Portugal (adaptado de Pôças et al. 2009b).

Esta diversidade de elementos paisagísticos reflecte a adaptação à grande variabilidade ecológica da região transmontana e, também, a indispensável multifuncionalidade em sistemas de agricultura que tradicionalmente pouco contactavam com o “exterior”. Isto é, as acessibilidades e as distâncias entre povoações eram frequentemente limitantes nesta região,

pelo que os sistemas de agricultura eram estruturados numa perspectiva de auto-abastecimento das comunidades que se lhes encontravam associadas. Os lameiros actuavam como elemento indispensável na alimentação do gado bovino; as hortas, instaladas próximo das povoações, em solos de maior fertilidade e regados, garantiam a produção para autoconsumo; as zonas de floresta asseguravam a produção de lenho e, no caso concreto do castanheiro, a produção de fruto para utilização na alimentação humana e animal (Rodrigues 1996); e os baldios – terras comunitárias geridas pelas comunidades locais –, frequentemente localizados a elevadas altitudes, de difícil acesso e solos pobres, eram explorados em regime comunitário pelos vizinhos de cada aldeia, para a alimentação do gado e para obtenção de lenha e mato (Capela et al. 2006).

As extensas áreas de lameiros e baldios na região de Trás-os-Montes, e de modo particular no Alto Trás-os-Montes, revelam ainda hoje uma herança de intervenções seculares de pastores e produtores de gado. Nos sistemas de agricultura eram frequentes e espontâneas as instituições, organizações e manifestações com forte sentido de vida colectiva e de solidariedade vicinal, constituindo vestígios de organizações comunitárias de tipo pastoril ou agro-pastoril de origem presumivelmente pré-romana. Um exemplo de comunitarismo com raízes históricas profundas, é a vezeira, que se define pelo pastoreio comunitário de um rebanho constituído por animais de diversos produtores, que é levado a pastar em terras comunitárias e é guardado “à vez” por cada um dos produtores ou por um pastor por eles contratado (Bernardo Lima (1858-1862) citado por Faria 2007). Segundo Mendes (1981), encontram-se registos desta prática em documentos do século XVIII, sendo ainda hoje visível em algumas aldeias da região transmontana. Outro exemplo é o lameiro comunal usado para a alimentação do “boi do povo”, o touro usado para cobrição (Fontes 1979; Taborda 1932). Outro exemplo é ainda o baldio, cuja origem remontará à ocupação pelos Visigodos, no Século VII, altura em que foi adoptado o conceito germânico de propriedade comunitária, essencialmente no que respeita ao uso comunitário de recursos naturais (Coelho 2007). A respeito da utilização comunitária dos baldios existem inclusivamente registos de pastoreio comunitário de gado português e espanhol em baldios da Serra do Larouco (na fronteira entre Portugal e Espanha), durante o século XVI (Taborda 1932).

Porém, grande parte desta organização comunitária foi-se perdendo, dando lugar ao individualismo agrário, sobretudo com a progressiva apropriação e privatização de áreas de baldios. De facto, tal como noutras regiões de montanha europeias (e.g., Espanha, Escócia, País de Gales), a propriedade de uso comunitário (“*commons*”) sofreu elevada contestação

durante os séculos XVIII e XIX, por se considerar que os seus recursos eram geridos de forma ineficiente (Berasain e Pamplona-Irun 2008; Bravo e Moor 2008; Mendes 1981; Short 2008). Esta situação promoveu a divisão dos baldios em parcelas e consequente privatização das terras comunitárias e alteração do tipo de uso do solo. No entanto, na região do Barroso, onde a produção de gado constituía a principal actividade dos agricultores, esta divisão e privatização dos baldios foi menos intensa (Taborda 1932). Já nas décadas de 1940 e 50 os baldios sofreram nova contestação, passando a perímetros florestais na sequência de políticas de nacionalização promovidas pelo Estado, reduzindo ou mesmo eliminando o pastoreio (Caldas 1998; Pinto-Correia e Vos 2004). Em 1976 a gestão dos baldios foi devolvida às comunidades locais (Dec. Lei 39/76), recuperando-se a sua predominante funcionalidade para o pastoreio.

A evolução da produção de gado desde meados do século XIX e até 1999 na região de Trás-os-Montes (Gusmão et al. 1978; INE 1943a, 1972, 2001) evidencia esta regressão e avanço nas áreas de baldios (Figura 2.5), particularmente no que respeita à produção de ovinos e caprinos.

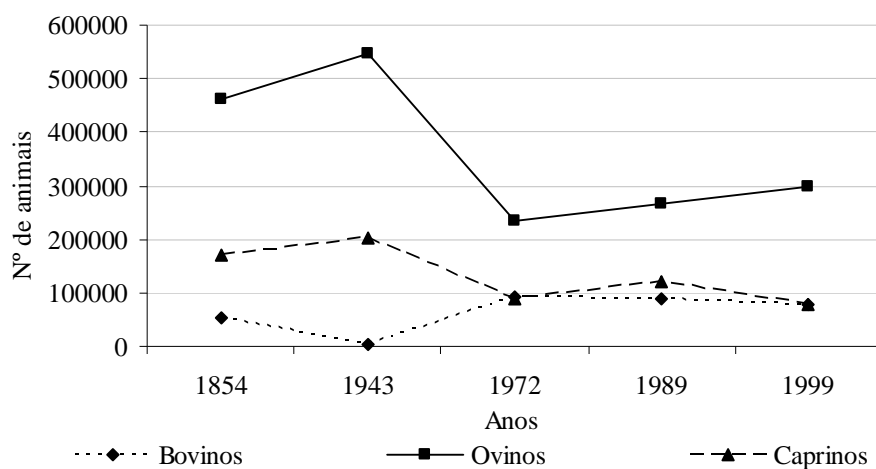


Figura 2.5 – Evolução do gado bovino, ovino e caprino em Trás-os-Montes, de 1854 a 1999.

Após a II Guerra Mundial, registaram-se também alterações nos sistemas tradicionais da agricultura transmontana e nas práticas de produção agrícola (Rodrigues 1996). As mais marcadas terão resultado da emigração da população mais jovem e envelhecimento da população que permaneceu na região, bem como da perda de importância da actividade pecuária, quer pela falta de mão-de-obra, quer pela redução das áreas baldias disponíveis para pastoreio, quer pela perda de importância dos bovinos enquanto força de tracção (Faria 2007; Pinto-Correia e Vos 2004). Tal como em outras zonas rurais de montanha, a ocorrência destes

fenómenos está relacionada com as condições de pobreza da população rural e de marginalização sócio-económica da própria região, decorrente do carácter de subsistência da agricultura praticada (Capela et al. 2006; Cots-Folch et al. 2009). Para além disso, a agricultura de montanha, requer mais trabalho e engenho e frequentemente tem menor produtividade quando comparada com a agricultura praticada nas terras baixas (Behringer et al. 2000; Caraveli 2000; Lasanta et al. 2006), pelo que se torna menos atractiva para a população mais jovem.

Este tipo de alterações geralmente conduz à intensificação dos sistemas de produção em zonas mais favoráveis, como os fundos de vale (García-Ruiz et al. 1996; Zomeni et al. 2008), à diminuição das cabeças de gado associada ao desaparecimento das práticas de transumância (Caraveli 2000; García-Ruiz et al. 1996; Olsson et al. 2000), à perda de biodiversidade (MacDonald et al. 2000; O'Rourke 2006; Olsson et al. 2000; Soliva 2007), bem como ao aumento da erosão e do risco de incêndio (Hill et al. 2008; MacDonald et al. 2000).

No caso das regiões de montanha do Alto Trás-os-Montes, a pecuária passou a ser praticada apenas pelas famílias que tinham como única actividade a agricultura – que consequentemente passaram a dispor de grandes superfícies de lameiros, resultando na extensificação desta actividade –, enquanto, nas famílias pluriactivas, as culturas permanentes (e cereais, em alguns casos), pouco exigentes em mão-de-obra e permitindo diferir os trabalhos segundo os períodos de disponibilidade da família, passaram a assumir maior relevância. As culturas hortícolas mantiveram grande interesse, particularmente para as famílias de mais baixos rendimentos. Tornou-se também visível uma alteração relativa às culturas temporárias, com a redução acentuada da produção de batata para semente – tradicionalmente cultivada na região do Barroso – e o aumento da produção de milho, evidenciando a tendência para a especialização das explorações na produção pecuária (Vieira et al. 2000a).

No entanto, os pontos mais característicos deste tipo de sistemas de agricultura mantêm-se na actualidade (Figura 2.4). A funcionalidade primordial continua a ser o autoconsumo, estando as exportações do sistema para o mercado confinadas à produção de carne ou leite de bovinos e de carne de pequenos ruminantes (Vieira et al. 2000a). Historicamente valorizadas pela sua capacidade de trabalho, mesmo em zonas de declives bastante acentuados, as raças bovinas autóctones de montanha (barrosã, maronesa e mirandesa) assumiram, após a introdução da mecanização, um papel dominante na produção de carne, obtendo o reconhecimento de qualidade DOP (Denominação de Origem Protegida) durante a década de 1990 (Faria, 2007).

Deste modo, o gado, particularmente o bovino, – sustentado por lameiros e baldios, embora estes últimos com perda de importância nos últimos anos – actua como a principal fonte de rendimento dos agricultores das zonas de montanha, constituindo um elo de ligação entre as áreas baldias e as áreas cultivadas. Não obstante, apesar do aumento de preços da carne produzida pelas raças autóctones e das políticas de incentivo à sua produção nas últimas décadas, o número de bovinos não recuperou (Faria, 2007), tal como se observa na Figura 2.5. Este facto evidencia as consequências irreversíveis relacionadas com as políticas de gestão e uso dos baldios ao longo de diversas décadas, desincentivando a actividade de produção de gado (associada à emigração e envelhecimento da população).

2.1.3 Modelo de organização do espaço rural

Os principais elementos desta paisagem de montanha do Alto Trás-os-Montes, e de modo mais específico do Barroso (Figura 2.1), evidenciam uma organização do espaço em *ager*, *saltus* e *silva*, caracteristicamente de origem romana (Jordan 1973 citado por Calvo-Iglesias et al. 2008; Claval 2007; Mazoyer e Roudart 2001). O cerne desta trilogia da paisagem é ocupado pelo povoado (*domus*) e pelas hortas (*hortus*). O *ager* é constituído pelas parcelas regularmente cultivadas, nomeadamente com culturas temporárias. O elemento *saltus* é nesta região representado pelos lameiros e baldios, explorados de forma extensiva para o pastoreio e produção de feno (Figura 2.4). O elemento *silva*, geralmente localizado em zonas de maior altitude e de relevo irregular, é representado pelas matas de resinosas (essencialmente, pinheiro bravo) e por matas de folhosas diversas (por exemplo, carvalhos e castanheiros).

Esta trilogia da paisagem agrária integra o conhecimento tradicional, a inovação e as práticas das comunidades locais, adquiridos ao longo do tempo e adaptados à cultura local e ao ambiente. Este tipo de estruturação da paisagem favorece a produção de múltiplos bens e serviços, garantindo maior segurança alimentar e qualidade de vida, e contribui para a herança natural e cultural. Inclusivamente, o conhecimento tradicional e a herança cultural, inerentes à trilogia da paisagem agrária, têm sido reconhecidos em diversos acordos e programas internacionais pela sua importância na sustentação de práticas de agricultura sustentável (do ponto de vista ambiental) e de gestão florestal, contribuindo assim para a protecção das paisagens e da biodiversidade biológica (MCPFE 2003; Rametsteiner e Mayer 2004).

2.2 OS LAMEIROS

2.2.1 Caracterização

Pela sua expressão na paisagem do Alto Trás-os-Montes e sua importância nos sistemas de agricultura e na própria economia, os lameiros constituem um elemento de grande importância na região. Os lameiros são pastagens de montanha de carácter permanente, que podem ser consideradas semi-naturais, uma vez que não decorrem da sementeira deliberada de espécies melhoradas (Moreira et al. 2001), nem são sujeitas a práticas como a aplicação de pesticidas ou a mobilização do solo. As únicas práticas culturais regularmente aplicadas a estas pastagens são o pastoreio, a rega, o corte e fenação, a construção de cercas e a limpeza de vegetação infestante.

Encontram-se normalmente em locais com elevadas disponibilidades hídricas e solos de textura fina, com elevados teores de matéria orgânica que, quando encharcados e nus, são abundantes em lama, característica que terá estado na origem da sua designação como “lameiros” (Pereira and Sousa 2006). Estas pastagens terão surgido durante a Alta Idade Média, em simultâneo com a fundação dos povoados de montanha (Moreira et al. 2001; Taborda 1932), em resultado da destruição, pelo fogo ou por corte, dos matos e árvores que se desenvolviam junto a linhas de água em solos de boa qualidade, acção esta complementada pelo espalhamento e subsequente desenvolvimento de sementes colhidas dos fenos obtidos noutros lameiros (Dries 2002; Pires et al. 1994).

Ainda que se concentrem principalmente nas regiões mais montanhosas de Trás-os-Montes, os lameiros ocorrem também na Beira Interior e Entre Douro e Minho, na proximidade das linhas de água e normalmente a cotas superiores a 700 – 800 m.

Os dados estatísticos acerca dos lameiros em Portugal são limitados, uma vez que a informação recolhida através dos recenseamentos da agricultura se refere genericamente às áreas de prados e pastagens permanentes. Esta informação inclui efectivamente as áreas de lameiros, mas também pastagens permanentes semeadas que têm sido instaladas mais recentemente e que são diferentes dos lameiros. Contudo, valerá a pena referir um trabalho realizado na região do Barroso, em que foram entrevistados 381 agricultores de 51 freguesias, tendo-se constatado que cerca de 92% dos prados e pastagens são lameiros espontâneos, 6% correspondem a pastagens sob-coberto e 3% constituem prados e pastagens semeados (Vieira et al. 2000).

Na Figura 2.6 apresenta-se a evolução percentual da área ocupada por prados e pastagens permanentes (em terra limpa) relativamente à área de superfície agrícola útil (SAU), para os dois últimos recenseamentos (1989 e 1999), nos concelhos do Alto Trás-os-Montes. À excepção do concelho de Valpaços, a percentagem de área ocupada por prados e pastagens permanentes relativamente à área de SAU aumentou. Observe-se os casos de Montalegre e Boticas (Barroso), em que a percentagem de prados e pastagens permanentes na área de SAU em 1999 se aproxima dos 70%, realçando a importância dos lameiros nos sistemas de agricultura da região.

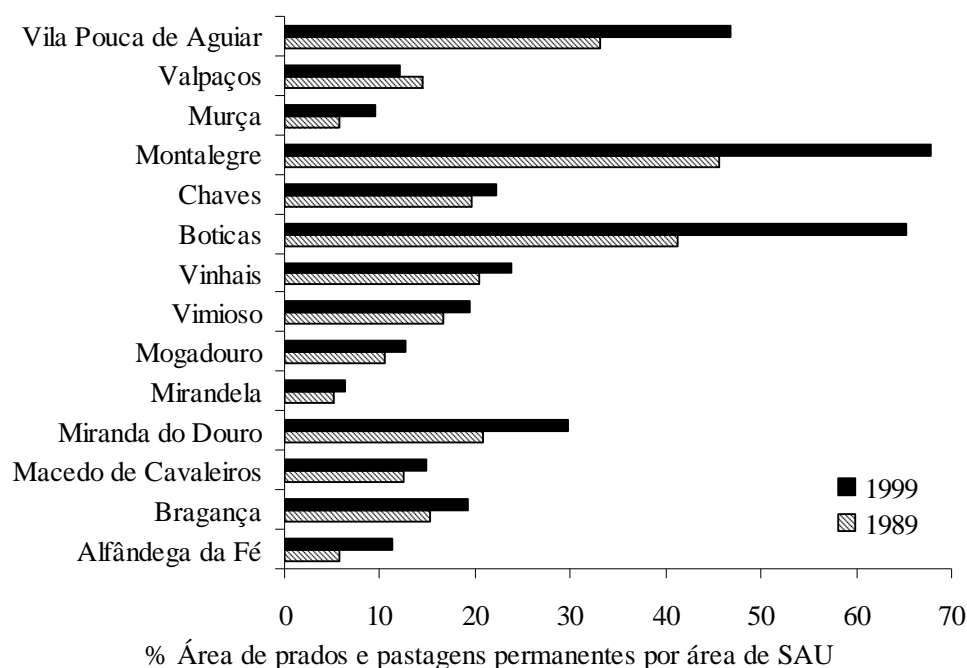


Figura 2.6 – Evolução percentual da área de prados e pastagens permanentes por área de SAU, no período 1989 – 1999, nos concelhos de Alto Trás-os-Montes (NUTIII) (INE 2001).

Os lameiros são maioritariamente explorados de acordo com três perspectivas (Moreira et al. 2001; Pires et al. 1994; Teles 1970): i) para pastoreio do gado, geralmente os lameiros mais pobres, sem rega durante o período de Verão ou com pouca disponibilidade de água nesse período – lameiros de pasto (pastigueiros); ii) para corte de erva, normalmente os lameiros com maior percentagem de espécies de elevado valor forrageiro, localizados em solos mais profundos e próximo das aldeias – lameiros de erva (segadeiros); iii) simultaneamente para erva e pastoreio, geralmente os lameiros com adequada disponibilidade de água de rega – lameiros de feno.

A disponibilidade de água, condicionando o tipo, qualidade e produtividade da vegetação que se desenvolve neste tipo de pastagens semi-naturais, assume-se como um outro factor

classificador dos lameiros: lameiros de regadio, lameiros de regadio imperfeito e lameiros de sequeiro ou secadal (Quadro 2.2).

Quadro 2.2 – Tipologia dos lameiros de acordo com a sua disponibilidade de água

Tipos de lameiros	Caracterização	Posicionamento relativamente a cursos de água e nascentes	Distribuição na paisagem	Espécies frequentes
Lameiros de regadio	Disponibilidade de água para satisfazer as necessidades de rega todo o ano	Localizados ao longo de cursos de água permanente ou próximo de boas nascentes de água	Preferencialmente localizados em fundos de vale e meia-encosta, beneficiando muitas vezes das escorrências com detritos orgânicos provenientes das povoações	<i>Holcus lanatus</i> ; <i>Plantago lanceolata</i> ; <i>Poa trivialis</i> ; <i>Cynosurus cristatus</i> ; <i>Hypochaeris radicata</i> ; <i>Dactylis gomerata</i> ; <i>Trifolium pratense</i> ; <i>Trifolium repens</i> ; ...
Lameiros de regadio imperfeito	Insuficiente disponibilidade de água para regar a totalidade da superfície da pastagem durante todo o Verão	Localizados próximo de linhas de água não permanentes ou de reduzido caudal ou com nascentes de água menores	Com uma distribuição na paisagem mais diversificada, este tipo de lameiros pode encontrar-se em fundos de vale, meia-encosta, encosta e por vezes nos planaltos	Composição específica mais ou menos próxima de lameiros de regadio ou de lameiros de sequeiro, consoante a maior ou menor disponibilidade de água
Lameiros de sequeiro	Indisponibilidade de água para regar no Verão, embora com água no Inverno. Dependentes da água das chuvas e da neve.	Localizados junto a linhas de água temporárias, as quais, mesmo no Inverno, em períodos mais ou menos longos sem precipitação, podem esgotar-se	Localizados em planaltos ou no topo de encostas	<i>Rumex crispus</i> ; <i>Rumex obtusifolius</i> ; <i>Rumex conglomeratus</i> ; <i>Mentha suaveolens</i> ; <i>Brachypodium rupestre</i> ; ...

(Adaptado de Gusmão et al. 1978; Moreira et al. 2001; Pires et al. 1994; Teles 1970).

O regime hídrico dos lameiros é um factor de grande importância na sua produtividade. A produção média de lameiros de regadio é de 3-6 ton/ha de feno e de 5-15 ton/ha de erva em pastoreio, enquanto em lameiros de sequeiro a produção se reduz para 1.5-3.5 ton/ha de feno e 2.5-4 ton/ha de erva pastoreada (Gusmão et al. 1978). Por sua vez, Moreira et al. (2001) referem produções em lameiros entre 4 e 6 ton MS/ha/ano, para um encabeçamento inferior a 1 bovino/ha, e de mais de 12 ton MS/ha/ano, para um encabeçamento superior a 2 bovinos/ha, condicionadas pela disponibilidade de água a que estas pastagens estão sujeitas e, por consequência, pelo tipo de vegetação, pela sua localização e pela gestão da rega. Os lameiros mais produtivos apresentam normalmente vegetação típica de solos húmidos e férteis, enquanto os menos produtivos são frequentemente de sequeiro, ou então encontram-se em encostas muito declivosas, sendo apenas aproveitados para pastoreio, ou situam-se em solos mais pobres ou encharcados, em que normalmente as plantas apresentam reduzido valor nutritivo. Em média, os valores de digestibilidade e proteína bruta rondam os 65% e

20%, respectivamente, baixando nas pastagens mais pobres para 50% e 8% (Moreira et al., 2001).

A orografia e o clima da região do Nordeste de Portugal e a disponibilidade de água condicionam a distribuição dos lameiros com diferentes regimes hídricos ao longo da paisagem, verificando-se maior concentração dos lameiros de regadio nas zonas mais ocidentais da região. Numa escala local, os solos em que predominam os lameiros reforçam a indicação da sua localização preferencial junto a linhas de água em fundos de vale, meia-encosta ou encostas mais íngremes (Pires et al. 1994).

Estas pastagens semi-naturais são constituídas por vegetação espontânea e sub-espontânea, com uma composição florística muito dependente das condições edafoclimáticas, mas também da gestão do efectivo de ruminantes. Num trabalho exaustivo de caracterização dos lameiros no Norte de Portugal, Teles (1970) constatou que a sua vegetação pertence essencialmente à classe *Molinio Arrhenatheretea*. Esta classe integra prados, pastagens e juncais de apetência mesófila a higrófila, frequentemente associados a solos profundos e frescos a encharcados (Honrado 2003). A classe *Molinio Arrhenatheretea* encontra-se representada na Europa e Ásia temperadas e com penetrações mais ou menos largas na região Mediterrânea (Teles 1970). Dentro da classe *Molinio Arrhenatheretea*, os lameiros podem integrar duas ordens – ordem *Arrhenatheretalia* Pawl. e ordem *Molinietalia* W. Koch –, de acordo com as suas exigências hídricas e, dentro destas, diferentes alianças conforme o regime de aproveitamento, e ainda diversas associações, com espécies características e diferenciadoras (Honrado 2003; Teles, 1963 e 1966b, citados por Teles 1970) como se resume no Anexo 1. As espécies predominantes em lameiros com diferentes regimes hídricos e sujeitos a distintos regimes de aproveitamento encontram-se resumidas no Anexo 2. No seu estudo dos lameiros, Teles (1970) relacionou a composição florística das diferentes associações de lameiros com a sua produção, composição química e valor forrageiro, conforme referenciado no Anexo 3.

No Quadro 2.3 combina-se a informação relativa a unidades pedológicas, associações vegetais e tipologia dos lameiros em algumas importantes localidades de Trás-os-Montes.

Quadro 2.3 – Principais unidades pedológicas, associações vegetais e tipos de lameiros quanto à disponibilidade de água e aproveitamento

Unidades pedológicas (classificação FAO)	Localidades onde foram observados	Associações vegetais	Tipo de lameiros	
			Disponibilidade de água	Aproveitamento
Regossolos	Vinhais	<i>Bromo-Cynosuretum</i>	Regadio e regadio imperfeito	Lameiros de pasto, feno e erva
Cambissolos	Montemuro, Leomil, Alvão e Barroso	<i>Anthemido-Cynosuretum</i> (Subass. <i>Sieglingia decumbens</i>)	Predominante/ regadio	Lameiros de feno e pasto
Luvissolos	Bragança, Vinhais	<i>Bromo-Cynosuretum</i>	Regadio	Lameiros de feno e pasto
Luvissolos-Alissolos	Vimioso	<i>Anthoxanthum aristatum</i> e <i>Festuca rubra</i>	Sequeiro	Lameiros de pasto
Gleissolos-Fluvisolos	Vinhais, Bragança, Vimioso		Regadio e regadio imperfeito	Lameiros de feno
Gleissolos-Fluvisolos	Montemuro e Leomil	<i>Peucedano-Juncetum acutiflori</i> (Subass. <i>Ranunculus flammula</i> e <i>Caltha palustris</i>)	Regadio e regadio imperfeito	Lameiros de feno
Gleissolos	Montemuro, Leomil, Alvão e Barroso	<i>Peucedano-Juncetum acutiflori</i> (Subass. <i>Ranunculus flammula</i> e <i>Caltha palustris</i>)	Regadio e regadio imperfeito	Lameiros de feno

2.2.2 A rega tradicional nos lameiros

Nos lameiros a rega é praticada ao longo de todo o ano, embora com objectivos diferentes: i) no Inverno e início da Primavera, para promover uma regulação térmica ao nível do solo e da vegetação, de modo a evitar ou minimizar os efeitos do frio e da geada sobre a vegetação – rega de lima; ii) desde meados da Primavera e durante o Verão, para satisfazer as necessidades hídricas da cultura. Geralmente não há limitação de água para rega no Inverno, excepto em anos de seca muito acentuada, enquanto na estação seca a disponibilidade de água varia consoante a proximidade a fontes de água permanente (Quadro 2.2).

Nestas pastagens, a rega opera através de um sistema engenhoso de regadio tradicional que actualmente ainda se mantém em funcionamento. A água é derivada a partir de cursos de água ou nascentes (Figura 2.7) e encaminhada até aos lameiros através de uma rede de pequenos canais de encosta dispostos aproximadamente segundo as curvas de nível, as regueiras (Dries 2002; Pereira e Sousa 2006; Portela 1996). Ao longo do seu percurso, a água é acumulada em reservatórios (poças de água) localizados a diferentes níveis das encostas ou mesmo no interior dos lameiros, de modo a permitir a rega de lameiros localizados a diversas altitudes.

A derivação da água dos reservatórios de encosta para os canais é frequentemente controlada por um sifão tradicional, feito de pedra (Figura 2.7 B₁ e B₂). Através deste sistema, quando o fluxo de água é elevado e o reservatório está cheio (o que ocorre principalmente no Inverno) o sifão é activado automaticamente (Figura 2.7B₂) e a água é derivada para a rega dos lameiros.



Figura 2.7 – A água de rega é derivada a partir de cursos de água (A) e fontes de água subterrânea. (B₁ e B₂) Sifão tradicional, feito de pedra, usado para controlar a distribuição da água para os canais de encosta. Quando o reservatório está cheio a água flui do orifício 1 (próximo do reservatório) para o orifício 2 (B₂) do sifão, derivando a água para o canal de encosta (regueira).

No interior dos lameiros existe igualmente uma rede de pequenos canais para permitir que a água escorra de forma lenta e contínua sobre a superfície da pastagem, formando uma fina camada de água, vulgarmente designada água de lima. A água avança sucessivamente de regueira para regueira (Figura 2.8A), de acordo com o posicionamento hierárquico destes canais sobre o terreno (Pereira e Sousa 2006). Nos lameiros é ainda frequente a presença de canais de menores dimensões em forma de T ou espinha de peixe, designados tralhas, que derivam das regueiras de modo a melhorar a uniformidade de distribuição da água (Figura 2.8B).

Ao promover um escoamento lento da água sobre os lameiros, que geralmente se localizam em terrenos com declive, este sistema tradicional de regadio aumenta o tempo de oportunidade de infiltração e diminui o pico de cheia e os efeitos de inundação nos cursos de água, contribuindo para as funções ecológicas e hidrológicas atribuídas aos lameiros.



Figura 2.8 – (A) Lameiro em que se observa a rede de canais – regueiras – através da qual é aplicada a água. (B) Pormenor de um lameiro em que a rede de canais inclui pequenos canais adicionais – tralhas – para garantir uma maior uniformidade de distribuição da água na pastagem.

O excesso de água em cada lameiro é sucessivamente derivado para outros lameiros e finalmente para os rios e para a toalha freática, sem degradação da qualidade da água, constituindo por isso um sistema de uso da água eficiente e “amigo do ambiente” (Pereira e Sousa 2006). O transporte de sedimentos e sua deposição nos cursos de água é minimizado devido à permanente cobertura do solo pela vegetação, com impactos positivos sobre a qualidade da água.

Os lameiros, tal como outras pastagens regadas (“water meadows”) em Inglaterra (Betty 1999) e na Alemanha (Schellberg 2005), usam a rega durante o Inverno e início da Primavera para promover um efeito de regulação térmica sobre a vegetação. Esta técnica é usada para minimizar os efeitos da geada, uma vez que nestas regiões, e durante esse período, o risco de ocorrência de geada é frequente e prolongado (Betty 1999; Gonçalves 1985; Schellberg 2005). O princípio subjacente a esta técnica decorre da temperatura da água de rega no Inverno ser geralmente mais elevada do que a temperatura do solo, da vegetação e do ar, sobretudo durante a noite (Quadro 2.4). Deste modo, a rega promove uma perda de calor que minimiza os efeitos da geada sobre o lameiro. Consequentemente, torna-se possível algum crescimento da vegetação neste período de Inverno e as plantas mantêm-se num estado menos desidratado, o que lhes permite um reinício de actividade vegetativa mais rápido e vigoroso na Primavera (Betty 1999; Gonçalves 1985; Pereira e Sousa 2006).

Quadro 2.4 – Temperatura da água de rega ($T_{\text{água}}$) na origem e em vários pontos ao longo do seu trajecto, comparada com a temperatura do ar (T_{ar}) e a temperatura da vegetação não regada (T_{veg}) (adaptado de Gonçalves 1985)

$T_{\text{água}}$ na fonte	$T_{\text{água}}$ a várias distâncias da origem					T_{veg} não regada	T_{ar}	
	4m	10m	20m	25m	50m			
Rio	2.5 °C	1.5 °C	1.4 °C	0.9 °C	-	-	-0.4 °C	0 °C
Nascente	11.8 °C	-	-	-	8.5 °C	7.1 °C	-4.0 °C	-3.0 °C

Ao longo dos séculos, a água tem sido motivo de conflitos, motivando a necessidade de definir direitos de atribuição da água. Há diversas histórias dos agricultores mais velhos que relatam conflitos relacionados com a água que atravessaram várias gerações. De modo a ultrapassar este problema, em muitas aldeias de Trás-os-Montes e de modo particular no regadio dos lameiros, foram definidas regras consuetudinárias de utilização da água, geridas pelas próprias comunidades de consortes (Capela et al. 2006) e transmitidas de geração em geração. Deste modo, a disponibilidade de água era e ainda é muitas vezes condicionada por um plano pré-estabelecido de atribuição de direitos de acesso à água (*aviação da água*), que determina quando e quanto cada regante pode dispor de água. Alguns agricultores mais idosos referem inclusivamente métodos ancestrais de marcação das horas de rega para cada regante através de sombras projectadas em determinadas pedras ou em cruces inscritas nas paredes de reservatórios ou ainda através de marcas em varas. A maior parte das vezes estas regras são transmitidas oralmente de geração para geração e são geralmente respeitadas. No caso da aldeia de Paredes do Rio (Montalegre), as normas de distribuição da água acordadas pelos agricultores estão relatadas na Acta da reunião da Junta de Freguesia de 6 de Fevereiro de 1953, estabelecendo uma divisão dos lameiros a regar em três secções, conforme representado na Figura 2.9: i) lameiros identificados com os números 1 – 13 são regados às segundas, quartas e sextas-feiras; ii) os lameiros identificados com os números 14 – 26 são regados às terças e quintas-feiras e aos sábados; iii) os lameiros identificados de a – k são regados aos domingos e feriados. Mais de meio século passado, esta aviação da água está ainda em funcionamento, comprovando a sua adequação às necessidades dos utilizadores.

No Nordeste de Portugal, os direitos da água foram originalmente atribuídos às populações locais pela altura da construção das infra-estruturas de rega, considerando as contribuições em trabalho e património. Estes direitos originais foram sendo progressivamente transmitidos às gerações seguintes por herança, casamento, venda das terras ou venda dos direitos da água, até à actualidade.

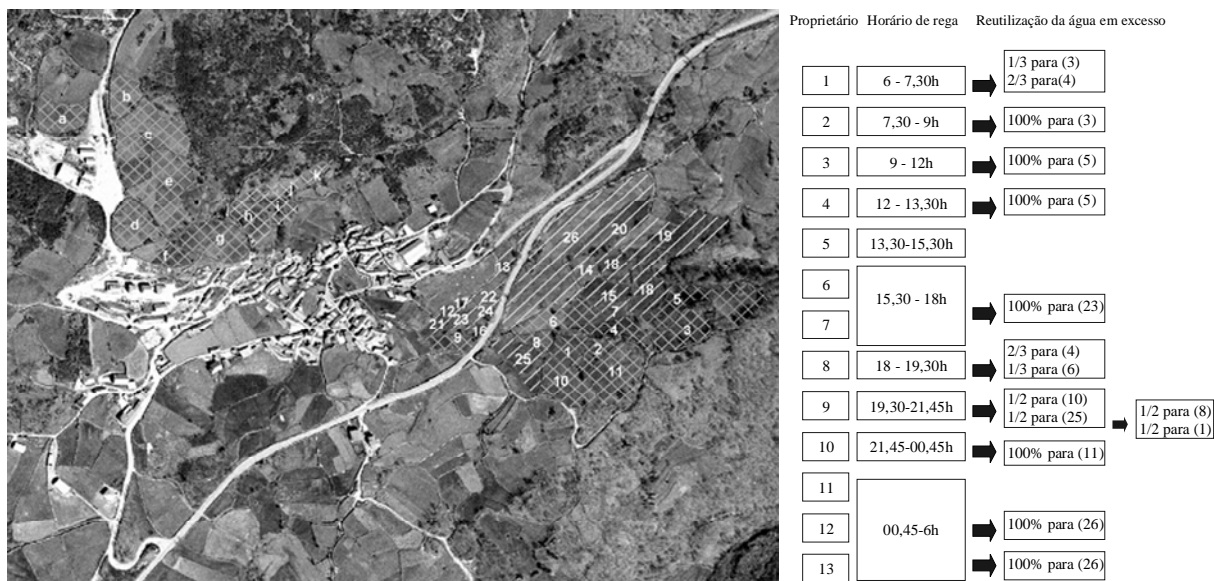


Figura 2.9 – Esquema do ciclo de utilização da água (“aviação da água”) numa secção de lameiros na aldeia de Paredes do Rio (Montalegre), definido em 1953 e actualmente em vigor.

O sistema de regadio tradicional usado nos lameiros enquadra-se no conceito de *farmer-managed irrigation system* (FMIS), segundo o qual os agricultores assumem total responsabilidade nos processos de tomada de decisão relativamente ao uso da água, enquanto recurso comum, pelo que a construção e manutenção das infra-estruturas de rega, bem como a definição dos direitos de propriedade, a monitorização das infracções e a determinação de sanções são da sua responsabilidade (Bhatta et al. 2005; Guillet 2006; Shivakoti e Bastakoti 2006). Este sistema FMIS permite boa adequação às necessidades específicas dos utilizadores da água.

Também noutras regiões de montanha do mundo podem ser encontrados sistemas tradicionais de distribuição, partição e alocação da água. Estes sistemas representam um património paisagístico e agrícola de grande valor natural, histórico e cultural, na medida em que resultam de muitos séculos de ocupação e intervenção humana. No entanto, há muitas diferenças entre os diversos sistemas no que respeita ao uso dos recursos naturais e pressão antropogénica. No Quadro 2.5 são apresentados exemplos de sistemas tradicionais de regadio associados a prados e pastagens de altitude em diferentes regiões do mundo. Exemplos de sistemas tradicionais de regadio podem igualmente ser encontrados em associação com outros tipos de culturas instaladas em zonas de montanha, nomeadamente na Bolívia (Roldán et al. 2008), Chile (Castro 2008), Peru (Enciso 2008), Andes Equatoriais (Goulven et al. 1989), Norte da Tailândia (Shivakoti e Bastakoti 2006) e Norte de Oman (Al-Marshudi 2007), entre outros.

Quadro 2.5 – Sistemas tradicionais de regadio associados a prados e pastagens de montanha em diversas regiões do mundo

País/Região	Sistema de agricultura	Características do sistema de regadio	Autores
Chile / Andes Centrais	Pastagens húmidas de elevada altitude (“ <i>bofedales</i> ”)	A água é conduzida através de uma rede de canais, traçados de acordo com a orografia, desde a sua origem até aos “ <i>bofedales</i> ”; a água drenada é reconduzida para as áreas mais secas de modo a promover a expansão destas pastagens.	(Squeo et al. 2006)
Bolívia / Andes e Omasuyos	“ <i>Bofedales</i> ”	A água é continuamente distribuída até às pastagens através de uma rede de canais em terra.	(Olmedo e Chipana 2008)
Peru / Quinoa (Lurin Sayoc)	Terras de elevada altitude (cultura não especificada)	A água é conduzida desde a sua origem até às parcelas de cultivo através de um sistema de canais: a alocação da água é definida pelos agricultores locais reunidos nos pontos de distribuição.	(Mitchell 1976)
Espanha (Noroeste)/ Orbigo	Pastagens naturais (“ <i>cotos boyales</i> ”)	A rega processa-se através de um sistema de regadio em cadeia, considerando os direitos de propriedade da água e assegurando que a água em excesso é disponibilizada para as comunidades localizadas a níveis inferiores da encosta.	(Guillet 2006)
Espanha (Sudeste)/ Alpujarra	Pastagens de montanha	A água de nascentes bem como a água derivada a partir de rios e de neve derretida é conduzida através de canais até às pastagens de encostas.	(Vivas et al. 2009)
Itália / Tyrol (Sul)	Pastagens alpinas	A água de diversas valas paralelas às curvas de nível é derramada encosta abaixo.	(Leibundgut 2004)
Itália (Norte)	Pastagens de Inverno ou “ <i>Marcite</i> ”	A água é conduzida através de um conjunto de valas até às parcelas a regar. O solo de cada parcela é nivelado para criar um movimento lento e regular do fluxo da água. A distribuição da água nas parcelas é controlada por comportas e descarregadores no canal de rega principal e o fluxo em excesso conduzido por uma rede de pequenos canais para um canal de drenagem.	(Girel 1994; Smith 2008)
França / Pirenéus Orientais	Pastagens de montanha	Uma rede de canais, construídos na Idade Média, conduz a água desde os rios de montanha até às pastagens (nas bacias altas). Até ao final do século XIX a água era gerida por grupos de utilizadores, altura em que passou a ser gerida por associações autorizadas.	(Ruf 2001)
Alemanha/ Baden-Württemberg	Pastagens regadas	A água é aplicada às pastagens no seu ponto mais elevado, fluindo encosta abaixo através de um conjunto de valas traçadas de acordo com as curvas de nível.	(Schellberg 2005)
Inglaterra	Pastagens regadas	A água de nascentes ou cursos de água é derivada para canais (“ <i>leats</i> ”) definidos ao longo das curvas de nível da encosta, de modo a inundar os canais posicionados a níveis inferiores na encosta (“ <i>Catchwork system</i> ”).	(Betty 1999; Cook et al. 2003)
Inglaterra	Pastagens regadas	A água derivada de um ponto alto dos cursos de água ou rios é conduzida através de um canal (“ <i>leaf</i> ”) para sistemas de canais paralelos definidos ao longo dos cumes das encostas. A partir deste sistema de canais a água flui ao longo das encostas e depois para drenos até retornar ao rio (“ <i>Bedwork systems</i> ”).	(Betty 1999; Cook et al. 2003)
Áustria / Tyrol (Norte)	Pastagens alpinas	Um sistema de canais traçados de acordo com as linhas de água (“ <i>Leiten</i> ” ou “ <i>Waale</i> ”) conduz a água até às pastagens.	(Leibundgut 2004)
Suíça / Alpes de Valais	Pastagens de montanha	Desde o século XIII são usados conjuntos de canais (“ <i>Bisses</i> ” ou “ <i>Suonen</i> ”) para conduzir a água até às pastagens. A distribuição da água é baseada em normas ancestrais.	(Leibundgut 2004; Reynard 2002)

2.2.3 Gestão dos lameiros: práticas culturais

2.2.3.1 *Gestão da erva/feno e do pastoreio*

Tradicionalmente, a gestão de lameiros e baldios tem sido implementada de forma integrada de modo a garantir a alimentação do gado (Taborda 1932). Na Primavera, o início do desenvolvimento vegetativo é mais precoce nos lameiros do que nos baldios, pelo que é frequente o pastoreio do gado nos lameiros nesta altura do ano. Deste modo, é assegurada uma adequada transição entre a alimentação do Inverno com feno e a sua alimentação de Verão com o pasto dos baldios. Quando a erva nos baldios está pronta para o pastoreio, o acesso dos animais aos lameiros é limitado, de modo a permitir o desenvolvimento da vegetação para obtenção de feno, o qual é colhido no início do Verão. Quando a vegetação dos baldios, no final do Verão, se torna escassa e muito seca, e já se encontra vegetação verde nos lameiros, em resultado do seu recrescimento após o corte do feno, é de novo permitido o pastoreio nos lameiros até meados ou final do Outono, isto é, enquanto a abundância da precipitação e a ocorrência de geadas permitem esta actividade (Santos 1995). No entanto, o pastoreio nos baldios tem vindo a perder importância e os lameiros, constituindo uma fonte forrageira de elevada qualidade e com crescentes áreas de ocupação do solo, têm vindo progressivamente a assumir predominância nesta função.

O pastoreio do gado nos lameiros controla o desenvolvimento das várias espécies, actuando como agente de manutenção da pastagem. São vários os autores (e.g. Bakker 1989; Kumm 2003; Lindborg et al. 2008; Norderhaug et al. 2000; Pikälä 2005; Raposo et al. 1990a; Raposo et al. 1990b) que referem a importância da gestão de pastagens semi-naturais (pastoreio e corte) na riqueza específica da flora, tendo como termo de comparação outras áreas agrícolas. Kumm (2003) refere que a ausência de pastoreio tem como consequência a perda de biodiversidade, em função das alterações no desenvolvimento da vegetação. Pires et al. (1990) referem uma tendência para o aumento da percentagem de gramíneas e consequente diminuição de leguminosas face à diminuição da intensidade de pastoreio em detrimento da frequência de corte.

Assim como o pastoreio, também o corte de feno funciona como agente de manutenção, favorecendo o desenvolvimento das plantas mais desejáveis (Pires et al. 1994) e a persistência de espécies de plantas raras. Por outro lado, a fenação tem um efeito muito positivo na produtividade, quer em feno quer em pasto, efeito que é menos significativo quando a fenação é tardia. Moreira et al. (2001) acrescentam que as datas de corte para feno devem coincidir o

mais possível com o espigamento das gramíneas dominantes no lameiro, de modo a obter feno com bom valor nutritivo.

2.2.3.2 *Fertilização e controlo de infestantes*

Na gestão dos lameiros são também consideradas a aplicação de fertilizantes, embora não seja uma prática generalizada, e a limpeza de infestantes. A aplicação de fertilizantes é uma técnica cultural com um efeito positivo na produtividade em feno e em pasto do lameiro (Ferreira et al. 1981; Raposo et al. 1990a). As fertilizações tradicionais recorrem essencialmente a dejectos dos animais que se encontram em pastoreio e a “águas” de enxurradas encaminhadas a partir dos seus pontos de ocorrência. Os dejectos dos animais, e de modo particular de bovinos, constituem a principal fonte de nutrientes das pastagens de montanha, podendo atingir os 100 Kg de azoto, 90 Kg de potássio e 9 Kg de fósforo por hectare, em 365 dias de pastoreio (Moreira et al. 2001). Contudo, Pires et al. (1994) referem o decréscimo de importância das fertilizações tradicionais ou estrumações em lameiros e realçam o facto de as fertilizações com adubos e correctivos minerais serem ainda reduzidas. Apesar desta realidade, resultados obtidos em estudos realizados por diversos autores evidenciam o efeito positivo desta técnica cultural na produção dos lameiros (Pires et al. 1990; Pires et al. 2003; Raposo et al. 1990a; Raposo et al. 1990b). As adubações azotadas são apontadas como aquelas que conduzem a maiores acréscimos de produção (Anexo 4) e que mais contribuem para a evolução da composição da pastagem, com repercussões na produção em matéria seca (MS). Moreira et al. (2001) e Pires et al. (1990) observaram relações positivas e significativas entre a produção de MS e a presença/composição em gramíneas e relações negativas com outras famílias. Contudo, é negativo o efeito da aplicação de fertilizantes na diversidade específica da vegetação e na persistência de espécies raras (Moreira et al. 2001). Estes autores referem que em pastagens de alta montanha não há interesse na aplicação de azoto ou até de outros nutrientes uma vez que a estação de crescimento é muito curta (menos de 90 a 120 dias), além de que o crescimento natural e potencial na Primavera/Verão é mais do que suficiente para a alimentação dos efectivos pecuários.

Relativamente à técnica de controlo das infestantes, esta é realizada sobre os lameiros e as estruturas de rega. Nos lameiros, os principais problemas com infestantes são os fetos, silvas e outras plantas infestantes rejeitadas pelos animais em pastoreio (plantas de baixa

palatabilidade). A ocorrência destas infestantes está geralmente associada a uma deficiente gestão do aproveitamento da erva. Para o seu controlo recorre-se geralmente a um corte de limpeza que em simultâneo favorece o recrescimento de espécies mais apetecíveis pelos animais, corrigindo ou anulando os efeitos de um aproveitamento menos eficiente (Moreira et al. 2001). Esta técnica tem pois um efeito muito positivo na produtividade, embora condicione negativamente a diversidade específica de plantas vasculares. Quando existem manchas contínuas infestadas é frequente o uso de fogo controlado como técnica de limpeza.

A limpeza das regueiras, da margem das linhas de água e de muros, é uma operação cultural com um efeito positivo na produtividade dos lameiros, na medida em que favorece as condições de condução da água e, conseqüentemente, a homogeneidade da sua distribuição. Esta operação é normalmente executada durante o período de Inverno, pelos produtores e pastores.

2.2.4 Multifuncionalidade dos lameiros

Conforme mencionado, os lameiros apresentam-se cada vez mais como um importante recurso para a economia dos agricultores de montanha e projectam-se como um componente estratégico para o desenvolvimento rural das zonas de montanha.

Os lameiros constituem também um elemento determinante no equilíbrio da paisagem rural. A sua sustentabilidade na paisagem de montanha transmontana evidencia, como referimos, as estratégias de sucessivas gerações de agricultores para ultrapassar as limitações agro-ecológicas da região, nomeadamente através do uso do sistema tradicional de regadio.

Aos lameiros são atribuídas várias outras funcionalidades de carácter ecológico, paisagístico, cultural e turístico. Merece referência o seu papel na conservação da biodiversidade vegetal e animal, por exemplo, da espécie da avifauna *Emberiza citrinela*, cujo habitat se restringe aos lameiros, ou da toupeira de água *Galemys pyrenaicus*, adaptada a este tipo de ambiente, ou da espécie *Holcus lanatus*, característica da flora destas pastagens. Pelo seu valor ecológico, os lameiros são reconhecidos como habitat protegido – habitat 6510 (ICN 2006). Aos lameiros é ainda reconhecida a acção como barreira à propagação de fogos florestais. Reconhecida é também a sua função na preservação de valores da paisagem, criando a integração de diversos elementos do mosaico paisagístico, como os baldios, as matas e os campos agrícolas.

2.3 CONSERVAÇÃO DOS LAMEIROS

Na actualidade, os lameiros podem ser vistos como um sistema sócio ecológico – *Social ecological system*, SES – que é afectado por diversos distúrbios. De acordo com esta abordagem, um SES pode ser definido pelas inter-relações e interdependência entre homem/sociedade e ambiente, com reflexo sobre o desenvolvimento sustentável de um determinado recurso (Shivakoti e Bastakoti 2006). Na sequência deste conceito, estes mesmos autores definem distúrbio como a ocorrência de um evento relativamente descontínuo no tempo que perturba um ecossistema e altera os recursos.

Um dos distúrbios a afectar o recurso lameiro é o envelhecimento e o decréscimo da população, a ocorrer desde meados do século XX na região de Trás-os-Montes (Figura 2.10). O declínio da população foi mais elevado entre 1954 e 1970 em resultado das políticas de nacionalização dos baldios, associadas ao declínio da agricultura e da emigração para as cidades do litoral e para outros países na década de 1950. Mais recentemente, terá contribuído para o declínio da população a carência de políticas eficazes de desenvolvimento rural e de fixação das populações em zonas rurais de montanha. Entre 1989 e 1999, a percentagem dos produtores agrícolas do Alto Trás-os-Montes com idade até aos 34 anos reduziu de 6% para 4% (INE 2001). Em diversas aldeias da região regista-se inclusivamente uma diminuição das mulheres jovens (Figura 2.10), comprometendo a sustentabilidade e perpetuação das comunidades locais no curto-médio prazo. Este facto é explicado pelos agricultores como o resultado dos fluxos de emigração nas últimas décadas devido à falta de emprego na região para as jovens.

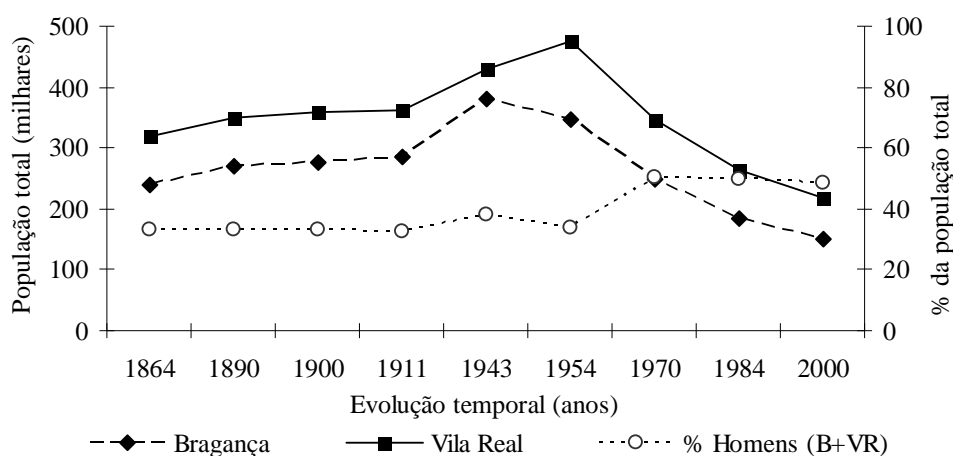


Figura 2.10 – Evolução da população nos distritos de Vila Real (VR) e Bragança (B), em Trás-os-Montes, e percentagem de indivíduos do sexo masculino, no período entre 1864 e 2000 (DGE 1915; INE 1943, 1954, 1970a, 1984, 2002).

O envelhecimento e declínio da população têm consequências sobre o abandono da agricultura e as alterações do uso do solo, pelo que este tipo de distúrbio compromete a conservação dos lameiros e das funções que lhe estão directa ou indirectamente associadas.

Outro distúrbio a ter em consideração é o aumento da competição pelo uso da água. A água está a surgir, um pouco por todo o mundo, como uma limitação grave não só para a intensificação da produção agrícola mas também para satisfazer as necessidades de outros sectores, como a indústria, o turismo e as utilizações domésticas (Nagaraj 1999). As grandes quantidades de água usadas na rega dos lameiros tornam possível que as previsíveis limitações de uso da água tenham implicações sobre o acesso e uso deste recurso. Neste contexto, apesar do sistema tradicional de regadio nos lameiros ser “amigo do ambiente”, conforme anteriormente mencionado, poderá ser necessária a implementação de novas estratégias de utilização da água, eventualmente colocando em risco a conservação dos lameiros.

Acresce ainda o facto das novas regras de uso e alocação da água definidas pela Lei da Água, no seguimento das regulamentações definidas pela União Europeia, poderem conduzir a problemas de reconhecimento dos direitos da água, uma vez que estes geralmente não se encontram escritos e foram atribuídos pelas comunidades há vários séculos (Lei 58/2005).

Tal como acontece com muitos sistemas agrícolas e paisagens ancestrais, os lameiros e seus regadios tradicionais, embora constituam um património de elevado valor, são particularmente vulneráveis à perda de eficiência económica. Deste modo, estão mais sujeitos ao abandono, destruição ou substituição por outros tipos de uso do solo.

As políticas de desenvolvimento rural (2007-2013), implementadas no contexto da política agrícola comum (PAC), incluem uma medida de apoio para lameiros e outros prados e pastagens de elevado valor florístico (medida 33). Esta medida surge integrada no grupo de “Conservação e melhoramento de espaços cultivados de elevado valor natural” e visa a manutenção do cultivo tradicional das pastagens e das práticas de pastoreio. Os incentivos económicos definidos por esta medida 33 para a manutenção dos lameiros não parecem contudo suficientes para garantir a conservação deste recurso a médio-longo prazo, atendendo ao tipo de distúrbios com potencial impacto sobre a conservação da agricultura de montanha e de modo específico sobre os lameiros de Trás-os-Montes. Acresce ainda o facto desta medida

não abranger a preservação e valorização do sistema de regadio centenário associado aos lameiros.

Para que este tipo de medida agro-ambiental possa cumprir os objectivos definidos é necessário criar condições para a fixação da população na região, em concertação com políticas rurais e de desenvolvimento regional eficientes, o que não tem acontecido. A própria conservação dos lameiros – que conforme referido constituem um recurso económico importante na região – poderá tornar-se um instrumento de incentivo à fixação das populações, desde que sejam estimuladas políticas coerentes de conservação de recursos e da paisagem em conjunto com benefícios económicos para as populações rurais. Neste contexto, surge como uma abordagem favorável o incentivo que tem sido dado à produção de raças bovinas autóctones, sustentada através de lameiros. Caso contrário, as estratégias de conservação de lameiros poderão ter de passar por uma substituição do seu cultivo tradicional e das práticas de pastoreio pela contratação de serviços de conservação (corte da erva, limpeza da pastagem), tal como sugerido por Santos (2000) num cenário hipotético. No entanto, este tipo de abordagem implicaria a eliminação do pastoreio do gado, a perda dos esquemas tradicionais de regadio e alterações na composição florística e biodiversidade dos lameiros. Como tal, esta opção ficaria muito aquém de assegurar as múltiplas funções dos agro-ecossistemas, nomeadamente as funções produtiva, económica e cultural, tal como definido por Fleskens et al. (2009).

2.4 DETECÇÃO REMOTA

2.4.1 Aplicabilidade

Na sequência das referidas limitações à conservação dos lameiros e da relevância sócio-económica deste elemento da paisagem e da agricultura de montanha do Alto Trás-os-Montes, torna-se determinante o seu estudo e análise, considerando de forma integrada os diversos elementos estruturantes do mosaico paisagístico.

A monitorização do comportamento dos lameiros nas últimas décadas constitui uma ferramenta de avaliação dos impactos das políticas regionais, da gestão dos recursos e do ordenamento do território. Esta informação pode e deve ser utilizada na definição de estratégias de gestão do uso da terra e da água, para os anos vindouros, que melhor satisfaçam as necessidades de desenvolvimento rural e regional. É neste âmbito que surge o trabalho de

estudo, monitorização e mapeamento de lameiros através de ferramentas de detecção remota (DR).

O desenvolvimento das técnicas de DR tem permitido, nas últimas décadas, um aumento crescente de aplicações agro-ambientais. A detecção e análise de alterações da paisagem ao longo do tempo (Jomaa et al. 2008; Kong et al. 2009; Marçal et al. 2005; Mottet et al. 2006; Narumalani et al. 2004; Zomeni et al. 2008), a monitorização de biótopos e formas de uso do solo (Bock 2003; Imbernon 1999; Sawaya et al. 2003; Walsh et al. 2001), o estudo da dinâmica da vegetação e sua fenologia (Elmore et al. 2000; Fisher et al. 2006; He et al. 2007; Martínez e Gilabert 2009; Tao et al. 2008; Xiao et al. 2006), a determinação da evapotranspiração para apoio à gestão de regadios (Allen et al. 2007a; Courault et al. 2008; Cuesta et al. 2005; Neale et al. 2005; Sarwar e Bill 2007) são alguns exemplos das aplicações de detecção remota actualmente disponíveis.

2.4.2 Características dos sensores

Os dados obtidos por DR permitem uma cobertura sinóptica e repetitiva de grandes áreas ao longo de diversos anos, tornando-os particularmente interessantes em estudos de monitorização. No entanto, a resolução temporal, espacial e espectral dos diferentes sensores, bem como o custo de aquisição de algumas imagens de satélite, podem limitar algumas aplicações da DR.

A resolução espacial representa o tamanho do menor objecto no solo que se consegue detectar na imagem, com correspondência ao tamanho do pixel. A resolução temporal corresponde ao tempo necessário para recolher uma nova imagem do mesmo local. Em sensores com orientação lateral para aquisição de dados oblíquos (*off-nadir*) é possível captar imagens sobre uma mesma área antes e depois da passagem da órbita do sensor, criando um período de revisitação menor. A resolução espectral refere-se ao número de bandas que podem ser gravadas em simultâneo em cada pixel na imagem, da sua largura e da sua localização no espectro electromagnético. Quanto maior a resolução espectral mais apertado é o intervalo do comprimento de onda de cada banda.

O Quadro 2.6 apresenta um resumo das características de sensores usados em estudos de vegetação em diferentes disciplinas e com potencial interesse na monitorização dos lameiros.

Quadro 2.6 – Resumo das características de alguns dos sensores mais usados em diferentes tipos de aplicações

Designação do Sensor	Resolução espectral ⁽¹⁾	Resolução espacial ⁽²⁾	Resolução espacial banda térmica	Resolução temporal (dias) ⁽³⁾	Orientação lateral ⁽³⁾	Aplicações
GeoEye-1	1 PAN: 0.45-0.80 µm	0.41 m	-	2.1-8.3 (<i>off-nadir</i>) ⁽⁴⁾	Sim	Aplicações relacionadas com a defesa e segurança nacional, transportes marítimos e aéreos, energia, petróleo e gás, agricultura, monitorização de recursos naturais e ambiente.
	4 MS: 0.45-0.58 µm; 0.65-0.69 µm; 0.78-0.92 µm	1.65 m				
WorldView-2	1 PAN: 0.45-0.79 µm	0.46 m ⁽⁵⁾	-	1.1-3.7 (<i>off-nadir</i>) ⁽⁵⁾	Sim	Análise espectral, aplicações de mapeamento e monitorização, planeamento do território, defesa, simulação de ambientes.
	8 MS 0.40-1.04 µm	2 m				
IKONOS	1 PAN: 0.45-0.90 µm	1 m	-	1.5 -2.9 (<i>off-nadir</i>) ⁽⁶⁾	Sim	Mapeamento de áreas urbanas e rurais, recursos naturais, desastres naturais; agricultura e floresta; engenharia e construção; detecção de alterações.
	4 MS: 0.445-0.595 µm; 0.632-0.698 µm; 0.757- 0.853 µm	2 m				
Quickbird	1 PAN: 0.45-0.90 µm	0.61-0.72 m ⁽⁷⁾	-	5-8 (<i>off-nadir</i>) ⁽⁸⁾	Sim	Construção de mapas, gestão do território, avaliação de risco de seguros.
	4 MS: 0.45-0.69 µm e 0.76-0.90 µm (NIR)	2.44-2.88 m ⁽⁷⁾				
SPOT1,2,3 HRV	1 PAN: 0.50-0.73 µm	10 m	-	26 (nadir)	Sim	Classificações para o tipo de uso do solo e alterações ambientais.
	3 MS: 0.50-0.89 µm	20 m		1-3 (<i>off-nadir</i>)		
SPOT4 HRVIR	1 PAN: 0.61-0.78 µm	10 m	-	26 (nadir)	Sim	
	3 MS + 1 SWIR: 0.50-0.89 µm; 1.58-1.75 µm	20 m		1-3 (<i>off-nadir</i>)		
SPOT5 HRG	2 PAN: 0.48-0.71µm	2.5/5 m	-	26 (nadir)	Sim	
	3 MS + 1 SWIR: 0.50-0.89 µm; 1.58-1.75 µm	10/20 m ⁽⁹⁾		1-3 (<i>off-nadir</i>)		
ASTER	15 bandas: 0.52-0.86 µm; 1.60-1.70 µm; 2.145-2.430µm; 8.125-8.825 µm; 8.925-9.275 µm; 10.25-11.65 µm (banda térmica)	15/30 m ⁽¹⁰⁾	90 m	16 (nadir) 5 (<i>off-nadir</i>) ⁽¹¹⁾	Sim ⁽¹¹⁾	Climatologia da superfície do solo; dinâmica da vegetação e ecossistemas; monitorização de áreas de risco, vulcões, alterações do coberto do solo; aplicações em hidrologia, geologia e solos.
DEIMOS-1	3 bandas: 0.52-0.60 µm; 0.63-0.69 µm; 0.77-0.9 µm	22 m	-	Bi-semanal ⁽¹²⁾	-	Aplicações ao nível da agricultura, floresta, ambiente.
Landsat ETM+	1 PAN: 0.52-0.90 µm	15-30 m	-	16 (nadir)	Não	Alterações globais; agricultura, floresta, geologia, gestão de recursos, geografia, mapeamento, hidrologia e oceanografia; mapeamento de alterações na terra (desenvolvimento da agricultura, desertificação, deflorestação, urbanização, desenvolvimento e degradação de recursos hídricos) de origem antropogénica e natural ao longo de meses, anos ou décadas.
	7 MS: 0.45-0.90 µm; 1.55-1.74 µm; 2.07-2.35 µm; 10.3-12.4 µm (banda térmica)	30 m	60 m			
Landsat TM	7 MS: 0.45-0.91 µm; 1.56-1.78 µm; 2.09-2.35 µm; 10.4-12.4 µm (banda térmica)	30 m	120 m	16 (nadir)	Não	
Landsat MSS	4 MS: 0.5 – 1.0 µm	68 m x 83 m ⁽¹³⁾	237 m ⁽¹⁴⁾	18/16 (nadir) ⁽¹⁵⁾	Não	

Quadro 2.6 – Resumo das características de alguns dos sensores mais usados em diferentes tipos de aplicações

Designação do Sensor	Resolução espectral ⁽¹⁾	Resolução espacial ⁽²⁾	Resolução espacial banda térmica	Resolução temporal (dias) ⁽³⁾	Orientação lateral ⁽³⁾	Aplicações
Hyperion	220 bandas: 0.4-2.5 µm	30 m	-	16 (nadir)	Sim	Mapeamento da vegetação e de ecossistemas terrestres.
MODIS Terra	36 bandas: 0.405-14.385 µm	250-1000 m ⁽¹⁶⁾	1 Km	1-2 (nadir)	Não	Permite medições das dinâmicas globais em larga escala, incluindo o balanço de radiação, o coberto da terra por nuvens e processos que ocorrem nos oceanos, em terra e na camada baixa da atmosfera.
Aqua						
MERIS Oceano	15 bandas: 390-1040 nm	1040 m x 1200 m	-	3 (nadir)	Não	Aplicações oceanográficas e costeiras; aplicações terrestres (vegetação) e atmosféricas (nuvens/precipitação).
Terra e Costa		260 m x 300 m				
AVHRR	6 bandas: 0.58-0.68 µm; 0.73-1.00 µm; 1.58-1.64 µm; 3.55-3.93 µm; 10.30-11.30 µm; 11.50-12.50 µm	1.1 Km	1.1 Km	1 (nadir)	Não	Monitorização de nuvens; medição das emissões térmicas da terra; alterações climáticas; degradação ambiental.
SPOT-VEGETATION	3 MS + 1 SWIR: 0.45-0.89 µm; 1.58-1.75 µm	1 Km	-	1 (nadir)	Sim	Agricultura, gestão de recursos hídricos, floresta, ambiente, ecossistemas terrestres, alterações globais

(1) Número de bandas e respectiva cobertura no espectro electromagnético. PAN: bandas pancromáticas; MS: bandas multiespectrais; SWIR: banda do infravermelho de curto comprimento de onda; NIR: banda do infravermelho próximo.

(2) Bandas mais utilizadas.

(3) Alguns dos sensores considerados possuem a capacidade de orientação lateral para aquisição de dados oblíquos (*off-nadir*), possibilitando um período de revisitação menor sobre uma mesma área. *Off-nadir* corresponde a qualquer ponto que não se encontre directamente por baixo do sensor. Nadir qualquer ponto directamente por baixo do sensor

(4) Para uma latitude de 40°: 8.3 dias para ângulo *off-nadir* de 10° (0.42 m resolução espacial), 2.8 dias para ângulo *off-nadir* de 28° (resolução 0.50 m) e 2.1 dias para ângulo *off-nadir* de 35° (resolução 0.59 m)

(5) Resolução espacial de 0.46 m na posição nadir e 0.52 m para um ângulo 20° *off-nadir*. Período de revisitação de 3.7 dias para um ângulo *off-nadir* de 20° e 1.1 dias para uma resolução espacial de 1 m ou menos.

(6) Período de revisitação variável consoante o ângulo *off-nadir* do satélite, para uma latitude de 20°.

(7) Consoante o ângulo *off-nadir* varia de 0° a 25°.

(8) Latitude 40°: ciclo temporal de aproximadamente 8 dias para ângulo *off-nadir* de 0-15° e 5 dias para ângulo *off-nadir* de 0-25°. O período de revisitação é maior para latitudes <40° e menor para latitudes > 40°.

(9) Banda SWIR com resolução espacial de 20 m no sensor SPOT5 HRG.

(10) As bandas 1-3 (visível e infravermelho próximo) têm resolução espacial 15 m, enquanto as bandas 4-9 (infravermelho de curto comprimento de onda) têm resolução 30 m e as bandas 10-14 (infravermelho térmico) têm resolução 90 m.

(11) Orientação lateral para aquisição de dados oblíquos na banda 3 do VNIR (visível e infravermelho próximo)

(12) O sensor tem uma largura de varrimento > 600 Km, permitindo uma cobertura total de Portugal e Espanha duas vezes por semana e uma cobertura total da Europa a cada 10 dias.

(13) Frequentemente reamostrado para 57 m.

(14) Apenas no Landsat 3

(15) Landsat 1-3: 18 dias; Landsat 4-5: 16 dias.

(16) O sensor MODIS inclui 36 bandas com resoluções espaciais variáveis: bandas 1-2: 250 m; bandas 3-7: 500 m; bandas 8-36: 1000 m.

Sensores como IKONOS e Quickbird apresentam elevada resolução espacial (interessante para a monitorização de parcelas de reduzida dimensão) e a sua cobertura temporal é potencialmente elevada, ainda que muitas vezes condicionada por um plano de aquisição de imagens, e as imagens são caras (Quadro 2.6). De referir que em sensores com orientação lateral para aquisição de dados oblíquos, ainda que a cobertura temporal seja potencialmente elevada, a real disponibilidade de imagens nas bases de dados é frequentemente limitada a um reduzido número de imagens. Sensores como SPOT, ASTER e Landsat, com uma resolução espacial intermédia, permitem ultrapassar parcialmente alguns problemas anteriormente referidos (Quadro 2.6). Sensores que produzam imagens com uma baixa resolução espacial mas com uma elevada resolução temporal, como MODIS, AVHRR e SPOT-VEGETATION, poderão ser ferramentas de monitorização interessantes, sobretudo para comparações inter- anuais, devido à sua elevada taxa de aquisição de dados e à fácil disponibilização dos mesmos, a baixos custos ou gratuitamente (Quadro 2.6).

A utilização com sucesso de dados de detecção remota depende da escolha adequada dos sensores ao objecto de estudo e ao tipo de aplicação pretendida. No caso concreto da monitorização de lameiros nas últimas décadas, a selecção dos sensores deverá ser criteriosamente testada em função da adequabilidade da resolução espacial, a sua resolução temporal e o arquivo histórico de imagens.

2.4.3 Índices de vegetação

Na implementação de diversas aplicações da DR, nomeadamente nas relacionadas com a monitorização da vegetação, é frequente o uso de índices de vegetação (IV), devido à sua relação com parâmetros biofísicos das plantas, nomeadamente a dinâmica da vegetação e fenologia (Pettorelli et al. 2005; Tao et al. 2008; Xiao et al. 2006), o índice de área foliar (LAI), a altura de rugosidade para as transferências turbulentas, a emissividade e o albedo (Allen et al. 2007c; Bastiaanssen et al. 1998), bem como a sua relação com processos como a evapotranspiração (Nagler et al. 2005; Zhang et al. 2009a), a produtividade das culturas (Salazar et al. 2008) e a fracção da radiação fotossinteticamente activa absorvida pelo copado (Glen et al. 2008), entre outros.

As características espectrais da vegetação na zona do visível são determinadas pela clorofila, verificando-se uma baixa reflectância na zona do vermelho (0.62 – 0.70 μm) enquanto na região do infravermelho próximo a reflectância é elevada (0.7 – 1.1 μm) (Figura 2.11).

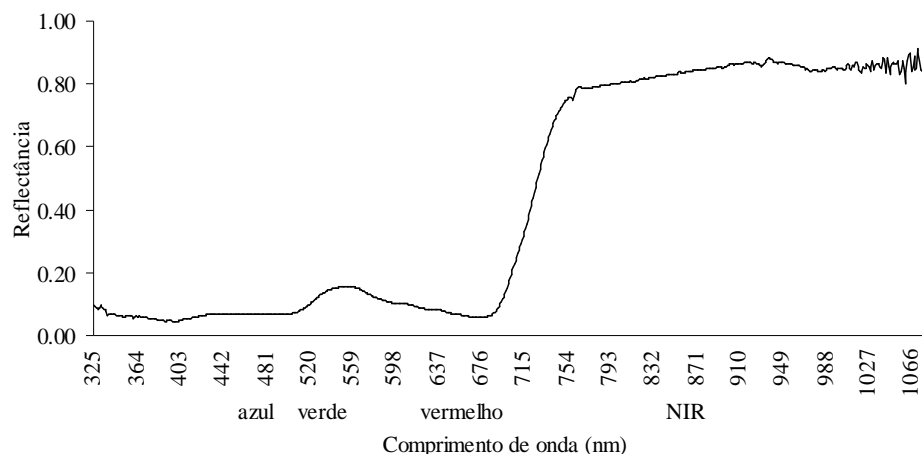


Figura 2.11 – Curva de reflectância construída a partir de dados obtidos em lameiros em 23 de Outubro de 2008.

Decorrente destas características, grande parte dos IV resulta da combinação de valores de reflectância em diferentes bandas do espectro electromagnético, frequentemente nas bandas do visível e do infravermelho próximo. Remetemos para o anexo 5 a descrição mais detalhada dos diversos índices de vegetação.

Actualmente é grande a diversidade de IV; no entanto, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Rouse et al. 1973) continua a ser um dos mais utilizados em diversas aplicações (e.g. Fensholt et al. 2009; Jones et al. 2008; Julien e Sobrino 2009; Soudani et al. 2008; Telesca e Lasaponara 2006; Telesca et al. 2008) e apontado como um indicador de grande sensibilidade para a avaliação da evolução e condição do coberto vegetal. Este índice baseia-se no contraste entre a máxima absorção na banda do vermelho devido à clorofila e a máxima reflectância no infravermelho próximo devido à estrutura celular da folha. A sua formulação (equação 2.2) permite a normalização da razão entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo (NIR), minimizando o efeito da variação das condições atmosféricas e das diferenças de iluminação presente nas bandas e assim conferindo robustez ao índice (Cayrol et al. 2000; Holben 1986; Huete et al. 2002).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (2.2)$$

em que ρ_{NIR} corresponde à reflectância na banda do infravermelho próximo (adimensional) e ρ_{red} à reflectância na banda do vermelho (adimensional) do espectro electromagnético.

A estrutura da planta e o respectivo teor em pigmentos varia significativamente ao longo da estação de crescimento (Lunetta et al. 2002), reflectindo-se nos valores de NDVI ou outros

IV. Deste modo, a monitorização da dinâmica da vegetação, associada aos padrões sazonais e anuais do clima, através da DR, depende de medições multi-temporais.

A identificação e quantificação da variabilidade intra e inter-anual do NDVI permite compreender a forma como a dinâmica da vegetação responde a factores como a secura estival, as geadas de Inverno ou diferentes estratégias de gestão ou uso do solo (Price et al. 2001; Telesca e Lasaponara 2006).

As séries temporais do NDVI, derivadas a partir de imagens de elevada resolução temporal, são fundamentais em estudos de fenologia e dinâmica da vegetação (Martínez e Gilabert 2009; Pettorelli et al. 2005). As técnicas de detecção remota baseadas nas séries temporais têm também sido usadas na análise de alterações graduais associadas à variabilidade inter-anual do clima, gestão do território ou degradação do solo (Fabricante et al. 2009; Verbesselt et al. 2009; Zhou et al. 2009). Contudo, estas séries temporais de NDVI apenas estão disponíveis para imagens de satélite de baixa a média resolução espacial. Apesar de sensores como Landsat e SPOT serem frequentemente adequados para a recolha de informação com elevado detalhe espacial (Pôças et al. 2009), a sua cobertura não é suficiente para seguir as rápidas alterações da vegetação associadas à dinâmica da vegetação ou fenologia. Este tipo de séries temporais de diferentes índices de vegetação, derivadas a partir de sensores de baixa resolução espacial mas com elevada cobertura temporal (Quadro 2.6), tem sido usado para a monitorização da fenologia (principalmente início e fim da estação de crescimento) não só em ecossistemas naturais mas também em ecossistemas agrícolas. Contudo, o uso deste tipo de sensores é limitado a áreas contíguas extensas do ecossistema em estudo.

Os dados obtidos através de sensores remotos podem ser integrados e mesmo validados com dados de reflectância recolhidos em campo por espectrorradiómetros. Este tipo de equipamento permite fazer observações à escala da parcela em diferentes períodos do dia e em diferentes dias, informação que pode ser integrada numa monitorização multi-escala e em ferramentas de modelação da dinâmica da vegetação (Price et al. 2001).

Entre as vantagens de utilização de dados de DR comparativamente aos dados recolhidos em campo está a cobertura total da(s) parcela(s) em estudo por oposição às medições pontuais com o espectrorradiómetro, ao que se alia um menor consumo de tempo e por vezes menores custos.

2.4.4 Estimativa da evapotranspiração através da detecção remota

A necessidade de gestão equilibrada da água em regadio para conviver com a sua crescente escassez tem conduzido ao desenvolvimento de diversas metodologias de estimação da evapotranspiração (ET) a diferentes escalas. De entre os métodos de estimação da ET realçam-se o balanço hídrico, com aplicação a várias escalas e frequentemente recorrendo ao uso de modelos (e.g. Godinho et al. 2008), o uso conjunto da evapotranspiração de referência e de coeficientes culturais (Allen et al. 1998; Allen et al. 2007d; Pereira 2004) e a aplicação do balanço de massa e energia, e.g. razão de Bowen, covariâncias de Eddy e cintilómetro (Verstraeten et al. 2008).

No caso específico dos lameiros, dispostos sobre uma paisagem de montanha de relevo muito irregular, torna-se muito difícil a estimativa ou medição da ET pelos métodos e sistemas convencionais. A quantificação dos componentes do balanço hídrico é muito complexa e difícil devido ao constante escoamento da água de rega sobre a pastagem, ao fluxo subsuperficial da água no solo devido ao declive das parcelas e à ocorrência de percolação profunda. Também a utilização de sistemas de medição dos fluxos de calor e vapor como a covariância de Eddy ou a razão de Bowen é limitada em zonas com declive devido à variação nas orientações das correntes/fluxos de ar. Em zonas de montanha é necessário considerar o efeito da drenagem ortográfica do ar causada pelo arrefecimento, a aceleração das correntes de ar que passam pelas montanhas devido ao efeito de Venturi e os impactos de arrastamento devido à ondulação topográfica, factores que tornam difícil prever os fluxos de ar (Allen et al. 2008a). Acresce que as condições aerodinâmicas exigem um “fetch” maior, o que se revela impossível nestas regiões com um mosaico paisagístico diversificado.

Recentemente, têm vindo a ser exploradas ferramentas de DR capazes de estimar a ET à escala da parcela, da paisagem ou da região, recorrendo a imagens de sensores com banda térmica (Landsat, ASTER, GOES, ...), com vista a apoiar a gestão do regadio (Allen et al. 2007a; Courault et al. 2008; Cuesta et al. 2005; Neale et al. 2005; Sarwar e Bill 2007; Tasumi e Allen 2007).

Nesse sentido, têm vindo a ser desenvolvidos modelos de balanço de energia ao nível da superfície (SEB) com base em dados de satélite para a estimação e mapeamento da ET, os quais poderão constituir uma alternativa com potencial interesse para utilização em áreas de lameiros. O SEBAL – “*Surface Energy Balance Algorithm for Land*” – (Bastiaanssen et al. 1998), o METRICtm – “*Mapping Evapotranspiration at high Resolution using Internalized*

Calibration” – (Allen et al. 2007c) e o TSEB – Two-Source Energy Balance – (Kustas et al. 2004) são exemplos desse tipo de modelos.

Os modelos SEBAL e METRIC apresentam semelhanças uma vez que o segundo foi originado a partir do primeiro, mas obviamente apresentam diferenças conceituais e operacionais. Ambos usam um processo CIMEC (“calibration using inverse modelling at extreme conditions”) para a calibração interna do fluxo de calor sensível, eliminando os efeitos de enviesamento na temperatura da superfície do solo (T_s), na correcção atmosférica da reflectância e na estimação do fluxo de calor do solo (Allen et al. 2008; Allen et al. 2005a). Uma importante diferença entre estes dois modelos refere-se aos pontos âncora – “cold pixel” e “hot pixel” (pixel frio e pixel quente) – que definem as condições limite para o balanço de energia sobre a área de estudo. No METRIC, o “cold pixel” – representativo da máxima ET – é definido sobre um campo agrícola totalmente coberto por vegetação, semelhante a uma cultura de luzerna de referência, enquanto no SEBAL é determinado a partir da temperatura num pixel sobre uma superfície de água. O METRIC usa dados de ET de referência (Allen et al. 2005b), definidos através de dados meteorológicos, para o processo de calibração do fluxo de calor sensível (Allen et al. 2007c), enquanto as aplicações tradicionais do SEBAL assumem que o fluxo de calor sensível no estado “cold” se aproxima de zero, de tal modo que a ET nesse estado iguala a energia disponível (Bastiaanssen et al. 2005). O “hot pixel” é seleccionado, em ambos os modelos, sobre um campo agrícola não cultivado e seco, no qual se assume uma ET nula (Bastiaanssen et al. 1998; Bastiaanssen et al. 2005), ou, no caso de recente ocorrência de precipitação, sobre um pixel de valor positivo, tendo em consideração o balanço hídrico diário do solo (Allen et al. 2007c). Na estimativa do fluxo de calor sensível, ambos os modelos (METRIC e SEBAL) assumem uma relação linear entre a diferença de temperatura de duas alturas verticais próximo da superfície (dT) e a temperatura da superfície do solo (T_s) entre os dois pontos âncora.

O TSEB é um modelo “two-source” (planta + solo) para a determinação das transferências de calor, que considera as áreas de solo e de vegetação em separado, de acordo com os índices de vegetação (Kustas et al. 2004). Ao contrário dos outros dois modelos, que usam o CIMEC, o TSEB usa uma abordagem mais absoluta do balanço de energia do solo e apresenta melhor desempenho quando é conhecida a temperatura do ar sobre os campos e a T_s é muito rigorosa, ou quando se conhecem as condições da camada limite da atmosfera, tal como acontece nas aplicações ALEXI (“*Atmosphere–Land Exchange Inverse model*”) (Anderson et al. 2003). No

entanto, os dados necessários à parametrização e aplicação do modelo TSEB não estão muitas vezes disponíveis, tal como acontece sobre a área de estudo no Nordeste de Portugal.

A estimação da evapotranspiração através de modelos como o METRIC e o SEBAL é baseada no balanço de energia à superfície do solo, utilizando para o efeito informação das bandas térmica e de curto comprimento de onda de imagens de satélite (Allen et al. 2007c; Allen et al. 2007b).

O fluxo de calor latente é estimado como um resíduo do balanço de energia, resultando da subtracção do fluxo de calor do solo (G) e do fluxo de calor sensível (H) pela radiação líquida (Rn):

$$\lambda E = R_n - G - H \quad (2.3)$$

em que o fluxo de calor latente (λE) é directamente convertível em ET.

O METRIC, que usa imagens de satélite Landsat5 TM e Landsat7 ETM+ para determinar a evapotranspiração sobre grandes áreas, incluindo áreas montanhosas, surge como uma ferramenta de grande valor para aferir a ET em lameiros, consequentemente tornando possível estimar o seu consumo de água e identificar os seus regimes hídricos. O modelo de montanha do METRIC integra correcções para o declive, orientação e elevação, parâmetros com elevada influência sobre a quantidade de radiação solar recebida, pelo que se adequa à estimação da ET em áreas de relevo irregular (Allen et al. 2007b; Allen et al. 2007c).

O modelo METRIC tem sido aplicado para diversos fins relacionados com a gestão da água, nomeadamente para estimação do balanço hídrico em modelos hidrológicos, para regulação de uso da água de acordo com os direitos da água, para apoiar o planeamento de recursos hídricos, para avaliar a depleção de aquíferos e apoiar a modelação da água subterrânea, para estimar a água usada pela agricultura de regadio, para aferir a utilização histórica da água de modo a suportar decisões relativas à transferência de direitos da água, para desenvolver curvas dos coeficientes culturais e para avaliar o desempenho de projectos de rega (Allen et al. 2007a; Tasumi e Allen 2007).

Os dados obtidos através do METRIC, nomeadamente os componentes do balanço de energia (equação 2.3), complementados com dados do NDVI e da temperatura de superfície ajustada à modelação do terreno (T_{SDM}), podem igualmente ser úteis para caracterizar e mapear padrões biofísicos dos tipos de cobertura do solo (LCT – *land cover types*) na paisagem de montanha.

2.5 CARACTERIZAÇÃO, MAPEAMENTO E ANÁLISE DA PAISAGEM

2.5.1 Técnicas de caracterização e mapeamento da vegetação e da paisagem

O uso de múltiplos índices biofísicos na caracterização da paisagem pode melhorar os perfis da dinâmica dos LCT e da própria paisagem, permitindo uma melhor caracterização dos diversos elementos e uma maior compreensão da sustentabilidade e vitalidade do coberto/uso do solo em paisagens ancestrais. Esta abordagem biofísica para a caracterização dos principais elementos da paisagem pode ser também interessante como ferramenta de gestão da água em zonas de montanha, uma vez que não depende apenas da disponibilidade da água mas também das especificidades do tipo de coberto do solo, incluindo os impactos na erosão do solo. Pode ainda fornecer meios de prever o impacto de alterações do solo em ecossistemas dentro da paisagem e em outros recursos naturais.

O tipo de coberto do solo – características da vegetação e fenologia – tem impacto sobre processos como a absorção e re-emissão da radiação solar, fluxos de calor latente e calor sensível, evapotranspiração e fotossíntese (Maselli et al. 1998; Xiao et al. 2004). Deste modo, a aferição dos padrões e da variação destes parâmetros biofísicos em relação a diferentes LCT poderá melhorar a caracterização dos elementos da paisagem e, deste modo, apoiar a monitorização da sua dinâmica e melhorar a sua gestão.

Apesar do potencial dos IV para monitorizar a vegetação, devido à sua relação com diversos parâmetros biofísicos, existem algumas limitações na sua utilização. Por exemplo, no que respeita ao uso do NDVI, são frequentes os problemas de saturação para valores elevados de biomassa e de sensibilidade às propriedades do solo (Huete et al. 2002; Phillips et al. 2008; Zhang et al. 2009a). Acresce o facto de a monitorização do NDVI apenas detectar o aumento e diminuição na quantidade ou densidade da vegetação, mas poder não diferenciar, de modo eficiente, entre alteração da fenologia ao longo da estação de crescimento e alteração do coberto do solo (Julien et al. 2006). Durante alguns períodos do ano, e dependendo dos estados fenológicos, o uso individual do NDVI para monitorizar e discriminar LCT pode apresentar limitações. No entanto, poucas tentativas de integrar NDVI com informação adicional foram implementadas com o intuito de monitorizar e classificar a vegetação. Encontram-se referências sobre a integração da informação da temperatura da superfície da terra (LST) e do NDVI, com aplicações na descrição da vegetação à escala regional e identificação das alterações na vegetação e na ocupação do solo (Julien e Sobrino 2009; Julien et al. 2006). Abordagens similares combinaram a temperatura da superfície e o NDVI para

diferenciar modificações sazonais de alterações do tipo de coberto (Nemani e Running 1997). A temperatura de superfície pode apoiar a distinção entre tipos de espécies – para níveis similares de NDVI – com diferente comportamento estomático: espécies com maior controlo estomático apresentam T_s mais elevada; espécies com raízes mais profundas e com acesso a maior quantidade de água durante os períodos de secura têm tendência a reduzir a T_s através do arrefecimento evaporativo.

O uso integrado do NDVI com parâmetros relacionados com a biofísica das plantas e do ambiente, nomeadamente os fluxos de energia e transferência de calor (e.g. temperatura da superfície, evapotranspiração da cultura) e a rugosidade da superfície, revela potencial para o uso na monitorização e caracterização do coberto do solo, ultrapassando as dificuldades inerentes ao uso individual do NDVI ou outros índices de vegetação. No entanto, a disponibilidade de informação biofísica para resoluções espaciais adequadas é limitada, motivo pelo qual as metodologias de monitorização, mapeamento e classificação do tipo de uso/coberto do solo e, de forma mais genérica, da paisagem, se baseiam frequentemente apenas em dados espectrais e IV derivados a partir das imagens de satélite.

No processo de monitorização dos lameiros, além da sua identificação e caracterização, em integração com os demais elementos da paisagem e dos sistemas de agricultura da região do Alto Trás-os-Montes, é também importante o seu mapeamento na paisagem das últimas décadas, de modo a avaliar as alterações no uso do solo. O mapeamento da paisagem ao longo do tempo, incluindo a quantificação dos diversos componentes da paisagem e a definição das suas relações espaciais, constituem estratégias úteis para avaliar os impactos, sobre a paisagem, das tomadas de decisão políticas, de gestão e/ou de ordenamento (Narumalani et al. 2004).

Para detectar alterações de longa data sobre a paisagem torna-se necessário usar o máximo de informação disponível. No entanto, a integração de dados de várias fontes pode ser difícil, dadas as diferenças entre os diversos tipos de informação – diferentes resoluções espaciais e espectrais, desconhecimento das características geométricas e temáticas de mapas históricos, entre outros –, pelo que se torna necessário uniformizar o nível de conteúdo temático e detalhe espacial de mapas heterogéneos (Pelorosso et al. 2009).

O mapeamento da vegetação e da paisagem pode ser feito com grande detalhe através de observações em campo, mas esta metodologia apresenta obviamente limitações no que respeita ao tempo de execução, trabalho e custos. Outra metodologia de mapeamento da

vegetação e da paisagem consiste na fotointerpretação de fotografias aéreas (e.g. Lucas et al. 2007; Olsson et al. 2000; Zomeni et al. 2008). No entanto, a disponibilidade de fotografias aéreas nos períodos do ano mais adequados à diferenciação entre tipos de vegetação distintos, ou mesmo em diversos períodos do ano, de modo a captar a sazonalidade da vegetação é limitada. Acresce o facto de a captação de fotografias aéreas por dia ser limitada, pelo que a cobertura de áreas mais ou menos extensas é frequentemente feita por fotografias captadas em diferentes datas, com consequências sobre as suas propriedades radiométricas, o que dificulta o processo de classificação (Lucas et al. 2007).

A detecção remota permite ultrapassar algumas das limitações associadas às metodologias anteriores, sobretudo considerando os progressivos avanços em termos de resolução espacial dos sensores. As imagens de satélite permitem a cobertura de áreas francamente maiores do que as captadas por fotografia aérea, além de que a maior parte dos sensores remotos permite a captação de informação num intervalo muito mais alargado do espectro electromagnético, com vantagens para o mapeamento. Para além disso, a resolução temporal dos sensores remotos (Quadro 2.6) permite a obtenção de imagens em diferentes períodos do ano sobre uma mesma área de estudo.

A existência de arquivos de imagens de várias décadas, em alguns sensores (e.g., no caso do sensor Landsat, o arquivo de imagens remonta à década de 1970), permite um mapeamento de longa data e uma análise espaço-temporal das alterações do uso do solo, dos sistemas de agricultura e da paisagem, com interesse para a interpretação do impacto dos fenómenos sociais e das estratégias políticas e regionais seguidas durante esse período.

2.5.2 Técnicas de classificação de imagem

A extracção de informação da vegetação a partir de imagens de satélite decorre da interpretação das imagens com base em elementos como a cor, textura, tonalidade, padrão, índices de vegetação (Lu e Weng 2007; Xie et al. 2008). Esta interpretação é feita por recurso a métodos de classificação de imagem. Na classificação de imagem podem inclusivamente ser usadas imagens multitemporais e multi-sensor, embora cuidando para que sejam aplicados os adequados procedimentos de correcção geométrica, registo da imagem e correcção atmosférica (Lu e Weng 2007).

Os métodos tradicionais de classificação de imagem podem dividir-se em dois grandes grupos, classificação supervisionada e classificação não supervisionada, consoante são ou não

usados dados de treino como referência, como descrito no Quadro 2.7 (Lu e Weng 2007; Richards e Jia 2006; Xie et al. 2008). Por vezes é ainda usado um método híbrido de classificação supervisionada e não supervisionada, o qual associa a identificação de classes espectrais da classificação não supervisionada com classes de informação resultantes de dados de campo ou dados de referência (Richards e Jia 2006). Este método é, por exemplo, usado por Serra et al. (2008).

Quadro 2.7 – Métodos tradicionais de classificação, suas características e algoritmos mais frequentemente utilizados para a classificação da vegetação.

Métodos de classificação	Características	Vantagens	Desvantagens	Algoritmos de classificação (ou classificadores) mais usados
Supervisionada	O operador define um conjunto de pixéis para cada classe (áreas de treino), o qual é usado para gerar a assinatura da classe; esta assinatura é usada como referência, pelo algoritmo de classificação, para atribuir uma classe a cada pixel	Fácil implementação e rápido processamento após a definição das áreas de treino; disponível na maioria dos softwares estatísticos	Implica um bom conhecimento da área de estudo para poder definir áreas de treino de cada classe sobre a imagem.	Máxima verosimilhança Distância mínima Redes neuronais artificiais "Decision trees"
Não supervisionada	Baseia-se na formação de grupos espectralmente homogêneos, aos quais é posteriormente atribuída uma determinada classe; deste modo a segmentação dos dados espaciais processa-se sem a intervenção do operador, o qual apenas procede à atribuição de uma designação a cada um dos grupos formados	Ajusta-se bem aos dados; fácil aplicação e disponível na maioria dos softwares estatísticos	Os algoritmos de classificação mais usados envolvem procedimentos iterativos, pelo que o processamento é frequentemente demorado; a introdução de novos dados obriga a uma repetição de todo o processamento; a associação entre as classes obtidas e os tipos de cobertura do solo pode ser difícil.	ISODATA K-Means

Os métodos de classificação de imagem podem ainda ser divididos em paramétricos ou não paramétricos, consoante são ou não usados parâmetros estatísticos (e.g. vector médio e matriz de covariância) para calcular a separação entre classes (Lu e Weng 2007; Lucas et al. 2007). Os classificadores paramétricos – e.g., classificador de máxima verosimilhança – assumem uma distribuição normal dos padrões, o que nem sempre se verifica, particularmente em paisagens complexas (Xie et al. 2008). Os classificadores não paramétricos – e.g., redes neuronais artificiais, “decision trees” – são particularmente adequados quando se integra informação auxiliar, não espectral, no procedimento de classificação (Lu e Weng 2007).

No processo de classificação podem ainda considerar-se diferentes abordagens consoante o tipo de informação do pixel que é usada (Lu and Weng 2007): classificadores per-pixel, classificadores sub-pixel e classificadores per-field (Quadro 2.8).

Quadro 2.8 Processos de classificação de acordo com o tipo de informação de pixel usada

Processo de classificação	Características	Algoritmos de classificação (classificadores) mais usados	Referências bibliográficas*
<i>Per-pixel</i>	A assinatura de cada classe resulta da combinação da informação espectral de todos os materiais presentes no conjunto de pixeis usados no treino	Máxima verosimilhança Distância mínima Redes neuronais artificiais "Decision trees"	(Kong et al. 2009; Pignatti et al. 2009; Rogan et al. 2008; Sesnie et al. 2008; Zhang et al. 2008)
<i>Sub-pixel</i>	Considera que a informação de cada pixel corresponde à combinação da resposta espectral de diferentes materiais, pelo que classifica cada pixel da imagem de acordo com a fracção do material de interesse presente	"Fuzzy-set" "Spectral Unmixing" Análise de mistura espectral (SMA)	(Colditz et al. 2008; Sankey et al. 2008; Zhang et al. 2009b; Barducci et al. 2003)
<i>Per-field</i>	Integra dados raster e dados vector na classificação. Os dados vector são usados para subdividir as imagens em parcelas, de modo que a classificação se baseia nas parcelas, reduzindo a variação espectral inerente a uma mesma classe	Classificações baseadas em objectos	(Wu et al. 2009; Marçal et al 2005)

*referências a trabalhos que recentemente utilizaram cada um dos diferentes processos de classificação.

2.5.3 Estrutura da paisagem

Na sequência do mapeamento da paisagem é possível analisar a sua estrutura/padrão espacial recorrendo a métricas da paisagem, que se baseiam na análise da geometria e arranjo espacial das manchas dos diferentes tipos de coberto do solo (Narumalani et al. 2004). A estrutura da paisagem pode ser analisada de acordo com dois componentes básicos: composição e configuração (Leitão e Ahern 2002). As métricas relacionadas com a composição da paisagem não tomam em consideração os atributos espaciais e medem características como a proporção, riqueza, equitabilidade ou dominância dos diferentes tipos de manchas e classes na paisagem, enquanto as métricas relacionadas com a configuração, requerem informação espacial para o seu cálculo e estão relacionadas com a geometria, distribuição e relações espaciais das diferentes manchas na paisagem (Gustafson 1998; Leitão e Ahern 2002).

As métricas da paisagem têm sido utilizadas para monitorizar e medir as alterações da paisagem (Lausch e Herzog 2002; Peng et al. 2009; Petrov e Sugumaran 2009), para analisar o impacto de medidas de gestão e ordenamento (Narumalani et al. 2004), para apoiar

estratégias de planeamento da paisagem e conservação (Leitão e Ahern 2002; Sundell-Turner e Rodewald 2008), para analisar a fragmentação de habitats e da própria paisagem (Hargis et al. 1998; Zeng e Wu 2005), entre outras aplicações.

No caso concreto da monitorização dos lameiros, as métricas da paisagem constituem ferramentas para a análise e quantificação das alterações, nas últimas décadas, tanto deste LCT como dos demais cobertos que integram a paisagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Na prossecução dos objectivos definidos foram implementadas diversas tarefas no âmbito da monitorização dos lameiros:

1. Avaliação da adequabilidade de diferentes sensores para a monitorização dos lameiros;
2. Identificação dos principais elementos caracterizadores da paisagem;
3. Estudo da dinâmica intra e inter-anual da vegetação dos lameiros através de sensores de elevada resolução temporal;
4. Estimativa da evapotranspiração em lameiros e nos demais elementos do mosaico paisagístico a partir do modelo METRIC;
5. Caracterização biofísica dos principais tipos de coberto do solo a partir de produtos intermédios e finais do METRIC;
6. Estudo da evolução dos lameiros na paisagem de Montalegre, nas últimas décadas, com base na classificação de imagens de satélite.

Para a implementação das tarefas referidas foram definidos locais de estudo e aplicadas as metodologias descritas em seguida.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Caracterização da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no Nordeste de Portugal, concretamente no concelho de Montalegre, uma região montanhosa onde a razão entre a área de pastagens permanentes¹ e a superfície agrícola útil (SAU) é particularmente elevada, 68% (cf. Figura 2.6). Neste concelho, e de forma generalizada na região de Barroso, a produção de gado bovino é a principal actividade agrícola e, conseqüentemente, os lameiros são um recurso fundamental para a economia da região. Os lameiros são igualmente um elemento crucial no mosaico paisagístico de Montalegre, encontrando-se frequentemente distribuídos acima dos 700-800 m e próximo de cursos de água.

¹ De acordo com os recenseamentos gerais da agricultura de 1989 e 1999, a área de pastagens permanentes em terra limpa inclui a área de pastagens permanentes espontâneas pobres em terra limpa – pastagens frequentemente situadas em zonas acidentadas e que não são melhoradas por adubações, cultivos, sementeiras, drenagens ou regas – e a área de prados e pastagens permanentes espontâneos melhorados e semeados – conjunto de plantas, em geral herbáceas, destinadas a serem comidas pelo gado no local em que vegetam e que acessoriamente podem ser cortadas em determinados períodos do ano, podendo ser semeados ou espontâneos.

A agricultura nesta região apresenta uma estrutura minifundiária, com propriedades de pequena dimensão e fragmentadas. No caso do concelho de Montalegre, cerca de 90% das parcelas agrícolas apresentam SAU inferior a 1 ha, embora existam freguesias com estrutura fundiária diversa. A freguesia de Covelães apresenta uma dispersão da propriedade similar à média do concelho, com 87% das parcelas agrícolas com menos de 1 ha de SAU. No entanto, o padrão de dispersão da SAU na freguesia de Salto evidencia menor fragmentação da propriedade agrícola: 59% de parcelas com SAU inferior a 1 ha e 25% com SAU entre 1 e 2 ha (INE 2001).

Concretamente em relação aos lameiros, Vieira et al. (2000) referem uma área média de 0.6 ha, ocupando em média 2/3 da área das explorações, na região do Barroso. No entanto, ainda que as parcelas individuais apresentem pequena dimensão, é generalizada a existência de extensas áreas contíguas de parcelas de lameiros, muitas vezes pertencentes a diferentes proprietários.

O concelho de Montalegre é caracterizado por um relevo irregular, com declives e orientação muito variáveis (Figura 3.1) e altitudes a oscilar entre os 150 e os 1500 m.

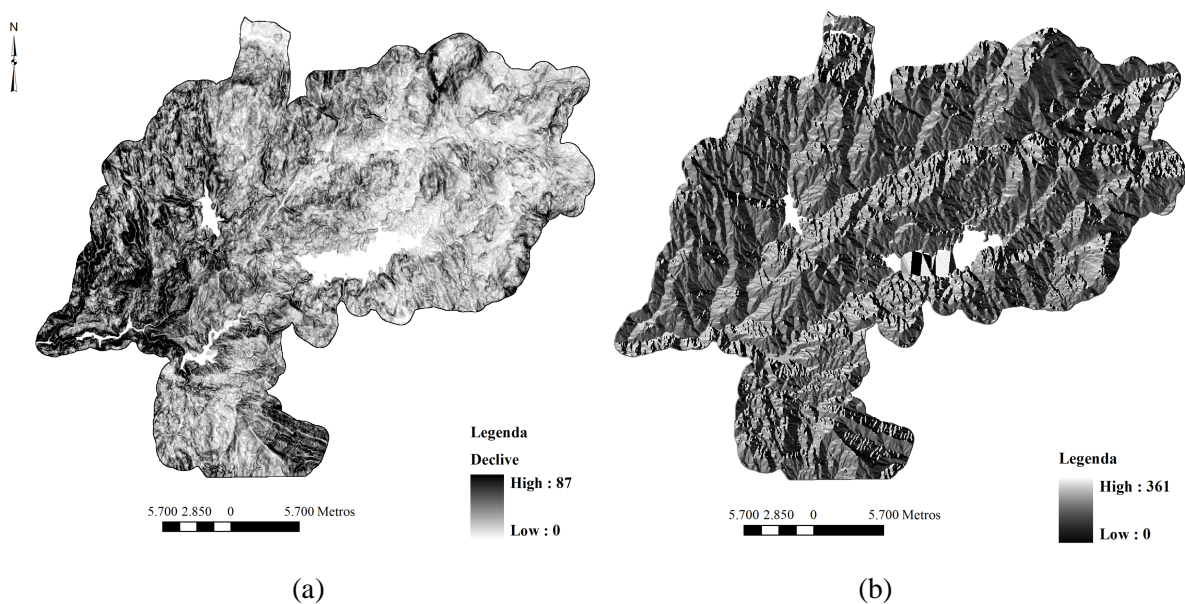


Figura 3.1 – Mapa de declives (a) e de orientação (b) construídos a partir do modelo digital do terreno, DEM (pixel 30 m).

Em Montalegre, apesar da distância ao litoral, a influência atlântica é ainda relevante, evidenciando-se pelos níveis elevados de precipitação, em média 1531 mm por ano, maioritariamente concentrados no Outono e Inverno. As temperaturas médias variam entre

3.5 °C (Janeiro) e 17.2 °C (Julho), sendo elevado o número de dias com ocorrência de geada (INMG 1991) (Figura 3.2).

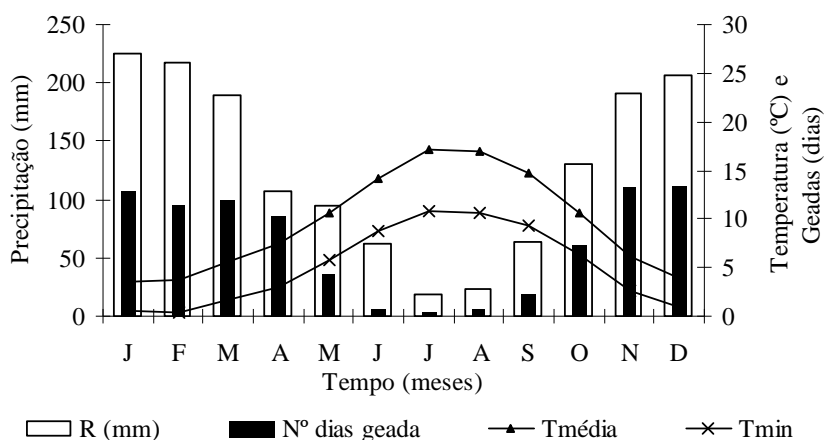


Figura 3.2 – Valores médios da precipitação (R, mm); número de dias de geada por mês; temperatura média (Tmédia, °C) e temperatura mínima (Tmin, °C) de Montalegre no período 1951-1980 (INMG 1991).

3.1.2 Locais de estudo

Dentro do concelho de Montalegre foram definidos dois locais de estudo distintos – um em Paredes do Rio (PRR)², e outro em Salto (SLT). Em cada um dos locais de estudo foram seleccionadas parcelas de lameiros activos e em bom estado de conservação.

No estudo foram considerados dados de reflectância derivados a partir de um espectrorradiómetro portátil (medições no terreno; ver 3.2.1) e de sensores de satélite com diferentes resoluções espaciais – SPOT2 HRV, SPOT4 HRVIR e SPOT5 HRG (10 a 20 m), Landsat 5 TM e Landsat7 ETM+ (30 m) e SPOT-VEGETATION (1 km) – pelo que a definição das parcelas de estudo foi adaptada em função desse factor.

Para o estudo com o espectrorradiómetro, SPOT (HRV, HRVIR e HGR) e Landsat (TM e ETM+) foram seleccionadas parcelas coincidentes: duas parcelas de lameiros, em cada local de estudo, correspondentes a um lameiro de regadio (LMR) e outro de sequeiro (LMS) (Figura 3.3a).

Em cada uma das parcelas seleccionadas para estudo ao nível da parcela com o espectrorradiómetro foram definidos diversos pontos de medição, de acordo com as condições do terreno (Quadro 3.1).

² Freguesia de Covelães

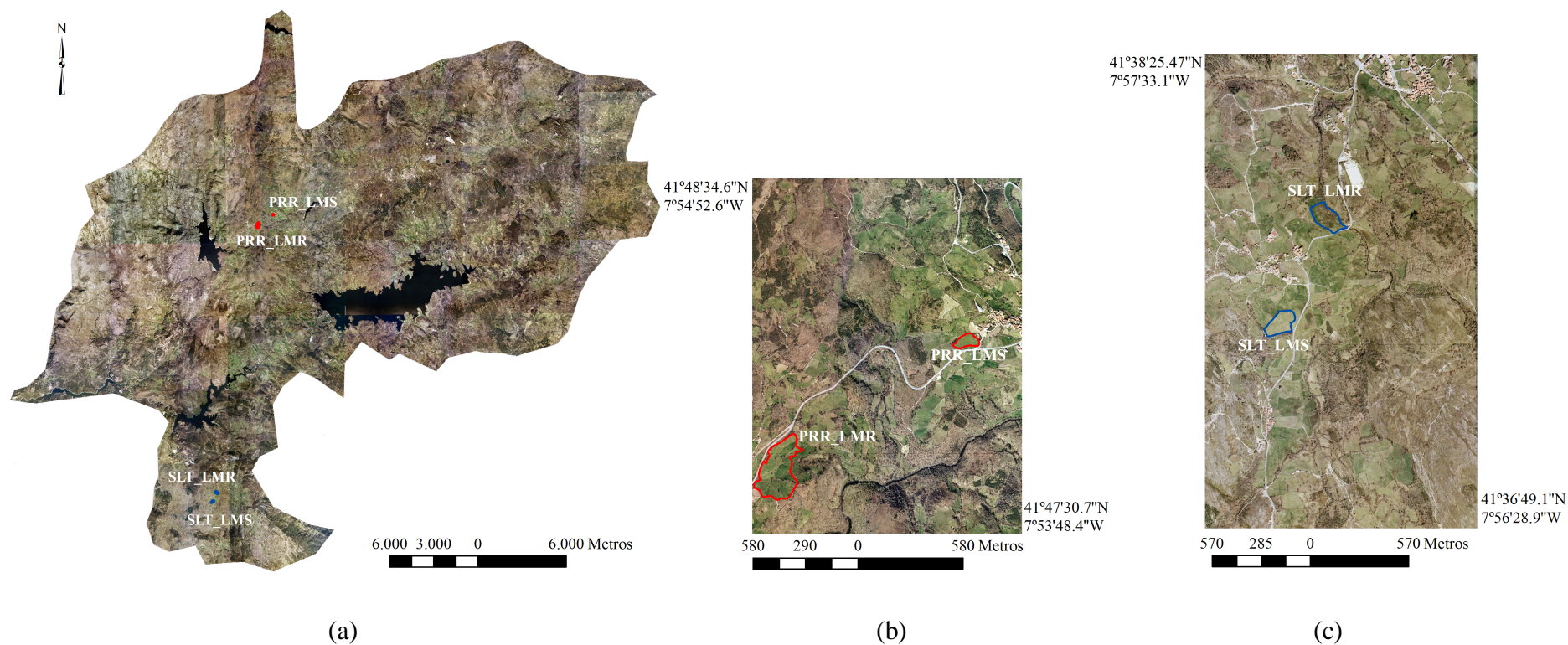


Figura 3.3 – (a) Ortofotomapa de Montalegre (escala 1/10000) de Março de 2003 com identificação dos locais – Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT) – e parcelas de estudo – parcelas de regadio (LMR) e parcelas de sequeiro – (LMS) – definidos para o estudo com espectralradiómetro, SPOT (HRV, HRVIR e HGR) e Landsat (TM e ETM+); (b) parcela definida em Paredes do Rio (PRR) para estudo com o sensor SPOT-VEGETATION, incluindo a identificação das parcelas de regadio e sequeiro definidas para estudo com os demais sensores (indicadas a vermelho); (c) parcela definida em Salto (SLT) para estudo com o sensor SPOT-VEGETATION, incluindo a identificação das parcelas de regadio e sequeiro definidas para estudo com os demais sensores (indicadas a azul).

Quadro 3.1 – Parcelas de estudo de regadio (LMR) e sequeiro (LMS) em Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT), definidas para estudo com espectrorradiómetro, SPOT (HRV, HRVIR e HRG) e Landsat (TM e ETM+), e respectivos pontos de medição.

Local	Parcela de Estudo	Sub-parcelas de estudo*	Nº pontos de medição**
PRR	LMR	LMR1	1
		LMR2	1
		LMR3	3
		LMR4	1
		LMR5	3
	LMS	LMS1	6
SLT	LMR	LMR1	4
		LMR2	3
		LMR3	2
	LMS	LMS1	3
		LMS2	2
		LMS3	3

* Sub-parcelas consideradas no estudo com os sensores SPOT2 HRV, SPOT4 HRVIR e SPOT5 HGR e Landsat5 TM e Landsat7 ETM+

** Pontos amostrados para as observações efectuadas ao nível da parcela.

Para o estudo com os sensores SPOT (HRV, HRVIR e HGR) e Landsat (TM e ETM+) cada uma das parcelas definidas foi dividida em sub-parcelas, de acordo com as condições de desenvolvimento da vegetação, distribuição da água e variação do declive e orientação. Cada uma das parcelas seleccionadas em Salto foi dividida em três sub-parcelas, num total de seis parcelas por área de estudo: LMR1, LMR2, LMR3 e LMS1, LMS2, LMS3. Em Paredes do Rio, a parcela de estudo correspondente ao lameiro de regadio (LMR) foi dividida em cinco sub-parcelas (LMR1, LMR2, LMR3, LMR4 e LMR5) e a parcela de sequeiro (LMS), pela sua uniformidade e dimensão, foi considerada como uma única sub-parcela (Quadro 3.1).

No estudo realizado com sensores de menor resolução espacial, nomeadamente com SPOT-VEGETATION (1 Km), foi necessário considerar áreas de estudo de maiores dimensões (ver sub-capítulo 3.3.2). Assim, para cada local – PRR e SLT – foi definida uma parcela de estudo sobre áreas maioritariamente cobertas por lameiros, incluindo conjuntamente as parcelas de lameiros de regadio e de sequeiro definidas para os outros sensores. Em Paredes do Rio foi definida uma parcela com 2x2 pixéis e em Salto 2x3 pixéis (Figura 3.3b e 3.3c). Em ambos os casos, na definição das parcelas de estudo foram considerados pixéis contíguos. As coordenadas do canto superior esquerdo de cada uma das parcelas foram: i) PRR (2x2 pixéis): longitude 7°54'52.6"W e latitude 41°48'34.6"N; ii) SLT (2x3 pixéis): longitude 7°57'33.1"W e latitude 41°38'25.4"N (Datum WGS84).

3.1.3 Caracterização da vegetação

A vegetação dos lameiros definidos em cada local de estudo é essencialmente da classe fitossociológica *Molinio Arrhenatheretea* (Teles 1970). No Quadro 3.2 são apresentadas as principais características da dinâmica da vegetação e fenologia e as práticas culturais associadas aos lameiros. No mesmo Quadro 3.2 é ainda apresentada a informação genérica sobre a dinâmica e condições da vegetação dos principais tipos de coberto do solo (LCT) que, juntamente com os lameiros, integram o mosaico paisagístico da área de estudo (Montalegre).

Quadro 3.2 – Dinâmica da vegetação, fenologia e práticas culturais características dos principais tipos de coberto do solo da paisagem de Montalegre

Tipo de coberto	Vegetação	Dinâmica da vegetação e fenologia
Lameiros	Espécies herbáceas permanentes. Essencialmente <i>Holcus lanatus</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Anthoxanthum odoratum</i> , <i>Festuca</i> spp., <i>Cynosurus cristatus</i> , <i>Trifolium dubium</i> .	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Janeiro/Fevereiro</i>: Dormência ou desenvolvimento escasso da vegetação; gramíneas e leguminosas essencialmente no estado fenológico de primeiras folhas ou afilhamento; a rega é praticada para promover um efeito de regulação térmico sobre a vegetação, minimizando ou evitando os efeitos das geadas. - <i>Março/Abril</i>: Vegetação em desenvolvimento; leguminosas e gramíneas essencialmente no estado fenológico de roseta/abotoamento e afilhamento, respectivamente; pastoreio nos lameiros. - <i>Mai</i>: Desenvolvimento rápido da vegetação; gramíneas entre o encanamento e espigamento; leguminosas em floração; pastoreio vedado para permitir o desenvolvimento da vegetação para feno. - <i>Junho</i>: Vegetação no máximo desenvolvimento (espigamento/floração) antes do corte para feno; durante o último decénio do mês a água para rega é desviada para outras culturas de modo a permitir a fenação. - <i>Julho</i>: Corte do feno, seguido de recrescimento da vegetação. - <i>Agosto/Setembro</i>: Recrescimento da vegetação. - <i>Outubro-Dezembro</i>: Gramíneas e leguminosas principalmente nas fases de primeiras folhas/afilhamento e roseta, respectivamente; a rega promove regulação térmica da vegetação; pastoreio do gado enquanto os níveis de precipitação e as temperaturas o permitem.
Baldios	Arbustos e espécies herbáceas permanentes. e.g. <i>Cytisius</i> spp., <i>Pterospartum tridentatum</i> , <i>Ulex</i> spp. e <i>Erica</i> spp. e <i>Festuca rubra</i> , <i>Agrostis</i> spp., <i>Nardus stricta</i> , <i>Holcus mollis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Primavera</i>: Desenvolvimento da vegetação herbácea ligeiramente mais tardio que nos lameiros. - <i>Verão</i>: Pastoreio durante todo o Verão; vegetação escassa e seca no final da estação. - <i>Outono/Inverno</i>: Para temperaturas inferiores a 6 °C a vegetação herbácea entra em repouso vegetativo; o pastoreio durante este período incide em grande medida sob a vegetação arbustiva e sub-arbustiva.
Culturas de sequeiro	e.g. centeio (<i>Secale cereale</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Meados de Setembro/Outubro</i>: Sementeira. - <i>Mai</i>: Floração em final de Maio. - <i>Junho</i>: Espigamento. - <i>Julho</i>: Colheita no início de Julho.
Matas de folhosas	e.g. carvalhos (<i>Q. robur</i> e <i>Q. pyrenaica</i>) e espécies rípícolas (<i>Betula celtiberica</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Primavera (início)</i>: Abrolhamento. - <i>Abril-Mai</i>: Floração dos carvalhos e do vidoeiro (<i>Betula</i>). - <i>Julho-Agosto</i>: Frutificação do vidoeiro. - <i>Outubro</i>: Maturação dos frutos nos carvalhos. - <i>Outono</i>: Queda das folhas.
Matas de resinosas	e.g. pinheiro bravo (<i>Pinus pinaster</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Copa coberta de folhas durante todo o ano. - <i>Junho</i>: Floração. - <i>Outono do ano seguinte</i>: Maturação das pinhas.

A informação do ortofotomapa de Montalegre (resolução espacial de 0.5 m) de Março de 2003 e a informação recolhida *in loco*, foram usadas na selecção dos LCT considerados: i) lameiros de regadio (LMR); ii) lameiros de sequeiro (LMS); iii) baldios (BLD); iv) culturas de sequeiro (CS); v) matas de folhosas (MF); e vi) matas de resinosas (MR). As culturas de sequeiro consideradas foram essencialmente de centeio (*Secale cereale*).

3.1.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados para ambos os locais de estudo referem-se à estação meteorológica de Montalegre (Latitude 41°49'N; longitude 7°47'W; altitude 1005 m). Para a realização do trabalho foram considerados:

- Dados diários de temperatura máxima e mínima, precipitação e velocidade do vento, entre Janeiro de 1991 e Dezembro de 2008;
- Dados de dez minutos de temperatura e velocidade do vento, para quatro dias do ano de 2002: 29 Maio, 22 Junho, 30 Junho e 2 Setembro.

Os dados de dez minutos foram agregados em dados horários.

Os dados meteorológicos diários e horários em falta na série 1991 a 2008, foram tratados do seguinte modo:

- para colmatar a falta de dados de precipitação recorreu-se aos valores registados, para o mesmo período, na estação udométrica de Outeiro (41.79°N; 7.94°W, altitude 845 m) e na estação udográfica de Pitões das Júnias (41.84°N; 7.95°W; altitude 1077 m), disponibilizados online pelo Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Com os dados destas duas estações estabeleceu-se uma equação de regressão para estimar os dados de precipitação em falta.
- para falhas pontuais (até sete dias por mês) nos dados diários de velocidade do vento foi considerado o valor médio da velocidade do vento no mês em questão; para falhas de dados por períodos prolongados foi considerado o valor obtido através de uma média ponderada da velocidade do vento para o mês em questão no período entre 1991-2008 e nas normais climatológicas de 1951-1980 (INMG 1991);
- nas falhas pontuais de dados diários de temperatura considerou-se o valor médio entre o dia anterior e o dia seguinte à falha; para falhas de dados por períodos prolongados

considerou-se o valor médio obtido a partir das normais climatológicas 1951-1980 para o mês em questão (INMG 1991);

- para os dados horários de velocidade do vento em falta (relativamente aos quais se usou essencialmente a informação relativa ao período entre as 11-12 h) foram usados como referência os dados das duas horas anteriores, sempre que estes estiveram disponíveis; caso contrário, foi assumido um valor da velocidade média de 2 m s^{-1} , medida a 2 m (correspondente a 2.67 m s^{-1} para uma altura do anemómetro de 10 m na estação meteorológica);
- os dados horários de temperatura em falta foram estimados com base nos dados diários de temperatura máxima e mínima. A temperatura horária máxima em falta foi estimada multiplicando a temperatura máxima diária pela razão entre a temperatura mínima horária e diária (não se registaram falhas de dados horários relativamente à temperatura mínima em nenhuma das datas consideradas). A hora de ocorrência da temperatura máxima foi estabelecida em função de dados de temperatura horária noutros anos para a mesma data. Para colmatar as falhas de temperatura horária antes da ocorrência da temperatura máxima foi calculado um factor de incremento de temperatura em cada hora, usando a diferença entre a temperatura máxima e o último registo de temperatura horária, dividida pelo número de horas nesse período. Para os dados horários em falta após a ocorrência da temperatura máxima considerou-se um factor de incremento definido pela diferença entre a temperatura máxima e o primeiro registo de temperatura horária após essa hora, dividida pelo número de horas nesse período.

3.2 MEDIÇÕES NO TERRENO

Nas parcelas em estudo, procedeu-se a observações da reflectância e da dinâmica sazonal de crescimento da vegetação.

3.2.1 Medições com espectrorradiómetro portátil

As medições de reflectância efectuadas sobre as parcelas de lameiros em estudo foram obtidas através de um espectrorradiómetro portátil FieldSpec UV/VNIR, com IFOV cónico de aproximadamente 25° e com amplitude de medição entre os 325 e os 1075 nm do espectro electromagnético.

O espectroradiômetro foi configurado para um tempo de integração de 136 ms e para a gravação de dez ficheiros de reflectância por ponto. Cada um dos dez ficheiros de reflectância gravados por ponto foi automaticamente comparado com a reflectância previamente medida sobre uma placa branca de referência (para a qual se assume um valor de reflectância próximo de 100% sobre todo o espectro electromagnético).

Foram efectuadas 18 campanhas de medição de reflectância entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008 com periodicidade de cerca de 1 mês. Estas medições foram efectuadas em dias de céu limpo entre as 11-13h – 10 Julho 07, 20 Julho 07, 8 Agosto 07, 11 Setembro 07, 20 Outubro 07, 23 Novembro 07, 27 Dezembro 07, 29 Janeiro 08, 22 Fevereiro 08, 13 Março 08, 5 Abril 08, 18 Junho 08, 9 Julho 2008, 5 Agosto 2008, 13 Setembro 2008, 23 Outubro 2008, 26 Novembro 2008 e 18 Dezembro 2008. Este período cobre as diversas fases da dinâmica da vegetação nos lameiros – máximo desenvolvimento da vegetação, início de desenvolvimento após o corte do feno, dormência, início do desenvolvimento vegetativo primaveril, desenvolvimento rápido e novamente máximo desenvolvimento.

Os dados de reflectância das bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR), obtidos através das medições com o espectroradiômetro foram usados para calcular o índice de vegetação NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse et al. 1973) – de acordo com a equação 2.2.

Os NDVIs foram calculados para cada ponto de medição, sub-parcela e parcela de estudo (Quadro 3.1), considerando as larguras das bandas do vermelho e do infravermelho próximo de cada um dos sensores considerados no estudo.

3.2.2 Dinâmica da vegetação e fenologia

A dinâmica da vegetação dos lameiros foi estudada ao nível da parcela, considerando a fenologia e as práticas culturais associadas a estas pastagens (Quadro 3.2).

A altura média da vegetação e o estado fenológico foram registados para cada ponto de medição em todas as campanhas. Para o efeito foi considerado um quadrado (1 m²) em cada ponto de medição, no qual foram efectuadas as medições. Nas gramíneas foram registados quatro estados fenológicos: primeiras folhas, afilhamento, encanamento (alongamento do caule) e espigamento. Nas leguminosas foram registados três estados fenológicos: roseta (estado vegetativo), abotoamento e floração. Em cada ponto de medição foi registado o estado fenológico observado em mais de 50% das plantas dentro do quadrado amostrado.

3.3 DADOS DE SATÉLITE

Na avaliação da resolução espacial que melhor se adequa à monitorização dos lameiros foram estudados sensores de resolução espacial intermédia – SPOT2 HRV, SPOT4 HRVIR e SPOT5 HGR e Landsat5 TM e Landsat7 ETM+ – e de baixa resolução espacial mas elevada resolução temporal – SPOT-VEGETATION.

3.3.1 Sensores Landsat (TM e ETM+) e SPOT (HRV, HRVIR e HGR)

Na análise da adequação dos sensores de resolução espacial intermédia à monitorização dos lameiros foram estudadas 29 imagens SPOT e Landsat, de resolução espacial 10, 20 e 30 m (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 – Resolução espacial e datas de aquisição das imagens de satélites estudadas

Sensores	Resolução Espacial	Banda do Vermelho	Banda do Infravermelho	Datas de Aquisição
SPOT 2 HRV	20 m	0.61 - 0.68 μm	0.78 – 0.89 μm	17 Junho 91 4 Julho 05 8 Agosto 91
SPOT 4 HRVIR	20 m	0.61 - 0.68 μm	0.78 – 0.89 μm	19 Março 99 8 Julho 98
SPOT 5 HRG	10 m	0.61 - 0.68 μm	0.78 – 0.89 μm	9 Fevereiro 04 13 Março 06 27 Março 04 8 Abril 03 5 Junho 05 31 Julho 02 20 Agosto 03 6 Setembro 06 16 Dezembro 05 24 Dezembro 03
Landsat 5 TM Path/Row: 204/31	30 m*	0.63 - 0.69 μm	0.76 – 0.90 μm	14 Março 89 22 Junho 02 15 Setembro 98 30 Outubro 97 25 Dezembro 94
Landsat 7 ETM+ Path/Row: 204/31	30 m**	0.63 - 0.69 μm	0.78 – 0.90 μm	19 Fevereiro 01 22 Fevereiro 02 20 Março 00 29 Maio 02 30 Junho 02 24 Junho 00 2 Setembro 02 21 Novembro 01 7 Dezembro 02

*Banda térmica (banda 6) com resolução espacial de 120 m.

**Banda térmica (banda 6) com resolução espacial de 60 m.

As imagens SPOT2 HRV, SPOT4 HRVIR e SPOT5 HGR usadas no estudo foram cedidas por "© CNES, Distribution Spot Image S.A.", no âmbito do Programa Europeu OASIS

(Referência do projecto: 307) e as imagens Landsat5 TM e Landsat7 ETM+ foram adquiridas através do *NASA-Landsat Programm, USGS*.

As imagens Landsat de 2002 de 22 de Fevereiro, 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho, 2 de Setembro e 7 de Dezembro, foram adquiridas com um nível de correcção do terreno standard (L1T). As restantes imagens Landsat foram adquiridas com um nível base de correcção sistemática (L1G).

No processamento das imagens Landsat e SPOT, que incluiu a correcção geométrica, a calibração e correcção radiométrica e a correcção atmosférica, foi usado o software Geomatica v8.2 (PCI_Geomatics 2001).

Para a correcção geométrica foram utilizados pontos de controlo no terreno (GCP – *ground control points*), identificados sobre cada imagem de satélite, usando como base georreferenciada um ortofotomapa (1/10000) de resolução espacial de 0.5 m. Recorrendo a uma transformação polinomial de primeira ordem e a uma reamostragem bilinear foram depois criadas imagens de satélite georreferenciadas de pixel 5 m x 5 m sobre a área de estudo. Segundo o método de reamostragem bilinear, a média ponderada pelas distâncias dos 4 pixéis mais próximos da imagem original é atribuída ao pixel da nova imagem, de modo que os valores da escala do cinzento são alterados e a imagem gerada apresenta um aspecto suavizado. Posteriormente, os lameiros estudados foram identificados sobre o ortofotomapa e convertidos para uma resolução do pixel de 5 m, de modo a combinar com as imagens de satélite georreferenciadas.

No Quadro 3.4 apresenta-se o número de pixéis (5 m x 5 m) considerado por sub-parcela, em cada um dos locais de estudo.

A informação contida nas imagens georreferenciadas Landsat e SPOT (números digitais) foi devidamente convertida em radiância espectral. A conversão para as imagens Landsat foi realizada (Chander e Markham 2003) através de:

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale} \quad (3.1)$$

e para as imagens SPOT:

$$L_{\lambda} = (DN - offset)/Gain \quad (3.2)$$

em que L_{λ} é a radiância espectral na abertura do sensor ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), $G_{rescale}$ e $B_{rescale}$ são factores de re-escalamento específicos de cada banda (correspondendo, respectivamente, ao ganho e desvio ou *offset* do sensor) ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}/DN$), Q_{cal} é o valor do pixel calibrado em

números digitais, DN é o número digital [adimensional], $Offset$ é o desvio do sensor (no caso, igual a zero) [adimensional] e $Gain$ é o ganho do sensor [adimensional].

Quadro 3.4 – Número de pixéis considerados na análise de adequabilidade de sensores, por parcelas de estudo de regadio (LMR) e sequeiro (LMS) em Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT)

Local	Parcela de Estudo	Sub-parcelas de estudo	Número de pixéis
PRR	LMR	LMR1	176
		LMR2	159
		LMR3	256
		LMR4	195
		LMR5	509
SLT	LMS	LMS1	308
	LMR	LMR1	285
		LMR2	329
LMR3		173	
SLT	LMS	LMS1	176
		LMS2	297
		LMS3	217

A radiância espectral foi depois convertida em reflectância no topo da atmosfera através da equação de Chandler e Markham (2003).

$$\rho = (\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2) / (ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s) \quad (3.3)$$

em que, ρ é a reflectância planetária (adimensional), d corresponde à distância terra-sol (unidades astronómicas), θ_s é o ângulo zenital solar (graus) e $ESUN_{\lambda}$ representa a irradiância solar exoatmosférica média ($W m^{-2} \mu m^{-1}$).

A área de estudo de Paredes do Rio está situada sobre uma zona de relevo muito irregular pelo que o coseno do ângulo solar ($\cos \theta_s$) da equação 3.3 foi ajustado pixel-a-pixel através de um mapa do ângulo solar incidente derivado a partir do modelo digital do terreno.

As imagens SPOT e Landsat foram ainda sujeitas a uma correcção atmosférica simplificada do alvo negro (“dark target”), que se baseia no pressuposto de que a reflectância sobre um objecto negro (por exemplo, água) na banda do infravermelho próximo (NIR) é aproximadamente igual a zero (Chavez 1988; Chavez 1996; Song et al. 2001). Deste modo, assumiu-se que os valores de reflectância não nulos sobre um corpo de água próximo do local

de estudo, na banda NIR, correspondem à acção da atmosfera e, conseqüentemente esse valor foi subtraído ao valor de reflectância em todos os pixels das diversas bandas da imagem georreferenciada.

Os NDVIs foram calculados a partir dos dados de reflectância para as sub-parcelas e parcelas de estudo (Quadro 3.1), em cada uma das imagens de satélite.

O modelo da programação usado no software PCI_Geomatica para conversão dos dados em reflectância e para obtenção dos NDVIs encontra-se no Anexo 6.

3.3.2 Sensor SPOT-VEGETATION

Na monitorização de lameiros através de dados do sensor SPOT-VEGETATION (VGT) foi utilizada informação da série temporal compreendida entre 1998 e 2008.

Este sensor, de resolução espacial de 1 km e resolução temporal diária, capta informação em quatro bandas na zona do visível e infravermelho próximo, entre os 0.43 e 1.75 μm (VITO, 2008). As bandas do vermelho e infravermelho próximo deste sensor apresentam correspondência com as bandas do sensor SPOT (Quadro 3.3).

Os produtos VGT usados na monitorização foram obtidos através do *Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek* (VITO) *Image Processing Centre* (VITO, 2008), o qual disponibiliza compósitos de NDVI de 10 dias de imagens (S10).

Estes compósitos S10 são disponibilizados para dez regiões de interesse diferentes. Os dados extraídos para a monitorização dos lameiros correspondem à região “Europe”, com uma cobertura entre os 25°N – 75°N de latitude e os 11°W – 62°E de longitude. De modo a incluir apenas a região do Nordeste de Portugal foi cortada uma secção das imagens de satélite, usando o software CROP VGT (VITO, 2008). A área considerada para monitorização dos lameiros correspondeu às duas parcelas de estudo definidas para este sensor (PRR 2x2 pixels e SLT 3x2 pixels), conforme descrito na secção 3.1.2. Para cada parcela de estudo foram usadas 36 imagens por ano, no período de Janeiro de 1998 a Julho de 2008, num total de 378 imagens.

Os valores do compósito S10 de NDVI para cada pixel correspondem ao dia (entre os 10 dias do compósito) em que a reflectância no topo da atmosfera é máxima – *Maximum Value Compositing* (MVC) (Holben 1986; VITO 2008). Estes compósitos S10 de NDVI possuem já correcção para os efeitos radiométricos, geométricos e atmosféricos. Contudo, o

processamento de MVC não permite eliminar totalmente a variabilidade do NDVI resultante de dados anómalos, pelo que quando estes ocorreram se procedeu à sua substituição por um valor mediano calculado a partir dos dois valores anteriores e os dois valores seguintes à data em questão.

Para evitar erros passíveis de contaminar os perfis temporais (e.g., erros de registo das imagens), cada parcela de estudo foi considerada como um todo, em vez de se usar uma abordagem pixel-a-pixel. Deste modo, foi obtida a média dos pixéis de cada parcela, produzindo um valor médio de NDVI por parcela para cada compósito S10. Além da média foi ainda extraída a mediana, o desvio padrão e o coeficiente de variação do NDVI para cada parcela de estudo de cada imagem.

A Figura 3.4 apresenta os coeficientes de variação (CV) para a média do NDVI dos pixéis amostrados nas parcelas de estudo em PRR e SLT, para diferentes períodos do ano.

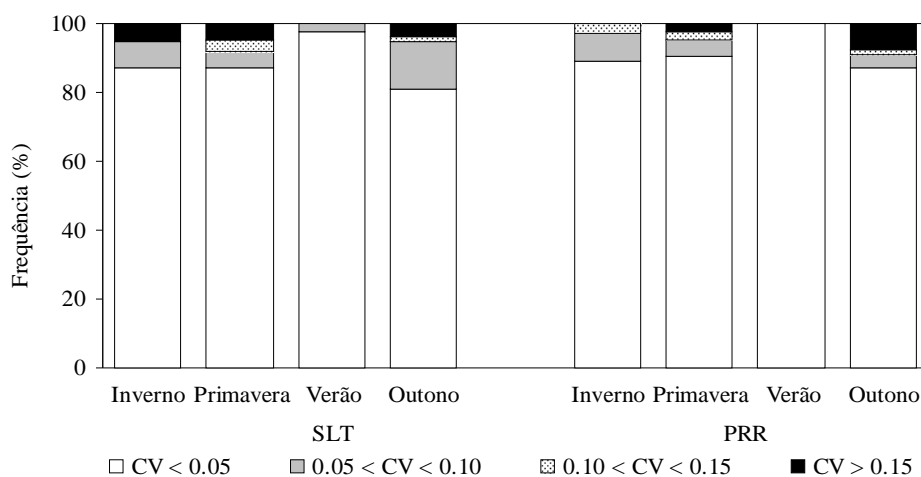


Figura 3.4 – Histograma do padrão sazonal do coeficiente de variação da média do NDVI em cada parcela de estudo: Paredes do Rio (PRR, 2x2 pixéis) e Salto (SLT; 3x2 pixéis).

Da análise em ambas as parcelas resultaram coeficientes de variação do NDVI inferiores a 0.05 em mais de 81% dos casos. Em cada uma das parcelas de estudo a maior uniformidade espacial nos resultados do NDVI foi obtida para as imagens de Verão (Figura 3.4). Por oposição, a maior variação foi observada nas imagens de Outono de Paredes do Rio, com 8% dos casos com $CV > 0.15$, seguida das imagens de Inverno em Salto. Os baixos valores de CV obtidos durante o Verão poderão resultar de uma maior uniformidade das condições do coberto por toda a parcela, devido à ausência de regadio na maior parte dos lameiros (geralmente os agricultores optam por encaminhar a água para outro tipo de culturas durante o período do Verão). Por outro lado, a frequente presença de nuvens na região de Montalegre,

durante o Outono e Inverno, poderá também justificar os valores mais elevados de CV nesse período. Dados meteorológicos da série temporal 1951-1980 para Montalegre revelam que 69% dos dias com nevoeiro ocorrem durante o Outono e Inverno (INMG 1991).

3.3.3 Comportamento dos diferentes sensores na monitorização dos lameiros

Os valores de NDVI obtidos com os sensores Landsat e SPOT foram comparados, para datas idênticas, com os NDVI obtidos com observações do espectroradiómetro ao nível da parcela.

Para tal, os valores de NDVI obtidos com o espectroradiómetro ($NDVI_{sp}$) resultam do valor médio de reflectância para as bandas do vermelho e do infravermelho próximo e foram calculados tomando em consideração a largura dessas bandas em cada um dos sensores SPOT2 HRV, SPOT4 HRVIR e SPOT5 HRG, Landsat5 TM e Landsat7 ETM+ (Quadro 3.3). Deste modo, a cada medição com o espectroradiómetro correspondem valores de NDVI para os diferentes sensores.

Uma vez que as diversas imagens de satélite e as medições com o espectroradiómetro foram adquiridas em diferentes anos, consequentemente sujeitas a diferentes condições meteorológicas, para a comparação da reflectância dos diferentes sensores, procedeu-se previamente a uma normalização dos dados de NDVI. Nesse sentido foi calculado um NDVI corrigido ($NDVI_{corr\ sensor_x}$) que integra as condições biofísicas dos anos em análise, conforme a equação seguinte:

$$NDVI_{corr\ sensor_x} = NDVI_{sensor_x} / ETo \quad (3.4)$$

onde ETo corresponde à evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$) nas datas de medições com o espectroradiómetro ou nas datas de aquisição das imagens de satélite. A evapotranspiração de referência calculada considerou não apenas cada uma das datas de medição com o espectroradiómetro ou de aquisição das imagens de satélite, mas também um período de 10 dias incluindo o dia de interesse (cinco dias antes e cinco dias depois da data em estudo). A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada de acordo com a metodologia proposta por Allen *et al.* (1998). A opção pela utilização da ETo na normalização dos NDVI considerou o facto de este parâmetro usar diversas variáveis climáticas no seu cálculo, nomeadamente as temperaturas máximas e mínimas e a velocidade do vento.

A comparação das médias dos NDVI obtidas com os diferentes sensores em lameiros de regadio e lameiros de sequeiro foi feita recorrendo a uma análise de variância ANOVA

one-way aos dados de NDVI. A análise de variância foi precedida da verificação dos pressupostos para a sua utilização: aleatoriedade da amostra, normalidade da distribuição das populações de dados – utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov (Chakravarti et al. 1967) – e semelhança entre variâncias – teste de Levene (Levene 1960). A significância dos valores de F calculados para cada tipo de regime hídrico foi estabelecida para probabilidades p inferiores a 5%, 1% e 0.1%.

Analizou-se ainda a correlação entre os resultados de NDVI obtidos através das medições efectuadas em campo e através das imagens de satélite dos diferentes sensores.

3.4 ESTUDO DA DINÂMICA INTRA E INTER-ANUAL EM LAMEIROS

A elevada resolução temporal do VGT torna este sensor particularmente interessante para aferir a dinâmica intra-anual da vegetação em lameiros. Por outro lado, a disponibilidade de 11 anos (1998-2008) de compósitos de NDVI-S10 torna também possível o estudo da variabilidade inter-anual. Assim, foi estudada a relação entre a dinâmica da vegetação e a evolução temporal dos NDVI obtidos com o sensor VGT ($NDVI_{VGT}$). Estudou-se ainda o efeito das variáveis meteorológicas na dinâmica da vegetação e na evolução sazonal dos NDVIs.

A dinâmica da vegetação detectada remotamente foi analisada a partir de métricas de $NDVI_{VGT}$ calculadas para cada ano, tendo em consideração três datas importantes na gestão dos lameiros: i) início do desenvolvimento vegetativo (IDV); ii) máximo desenvolvimento vegetativo (MDV); iii) primeiro recrescimento da vegetação após o corte para feno (RVG) (cf. Quadro 3.5). Baseado nestas três datas foram definidos três períodos, os quais foram igualmente considerados para obtenção de métricas do $NDVI_{VGT}$: i) período de desenvolvimento (PD), entre o início e o máximo desenvolvimento vegetativo, ii) período seco (PS), entre o máximo desenvolvimento vegetativo e o primeiro recrescimento após o corte do feno e iii) período de Outono/Inverno, entre o primeiro recrescimento após o corte do feno e o início da actividade vegetativa do ano seguinte.

Foi testada a relação dos perfis inter-anuais do $NDVI_{VGT}$ com dados meteorológicos para o período 1998-2008. Uma vez que os $NDVI_{VGT}$ correspondem a compósitos de dez dias, foi considerado o dia do meio de cada década. As variáveis climáticas consideradas foram a temperatura, precipitação e evapotranspiração de referência (Allen et al. 1998).

Foram testadas diferentes correlações:

- i) entre o dia de ocorrência das métricas básicas do NDVI (Quadro 3.5) e os dados de variáveis climáticas;
- ii) entre o número de dias das métricas derivadas do NDVI e as variáveis climáticas;
- iii) entre os valores de NDVI para as métricas básicas e derivadas de NDVI e as variáveis climáticas.

Quadro 3.5 – Procedimento para definição das métricas básicas e derivadas de NDVI_{VG}T, em função das condições da vegetação em lameiros aferidas por informação recolhida no campo

Métricas do NDVI	Definição	Período de ocorrência
<u>Métricas básicas do NDVI</u>		
Início do desenvolvimento vegetativo (IDV)	Valor de NDVI registado para o primeiro incremento consecutivo deste índice após o Inverno	Início da actividade vegetativa após o período de dormência ou pouco desenvolvimento no Inverno. Geralmente entre Março e Abril.
Máximo desenvolvimento vegetativo (MDV)	Máximo valor do NDVI	Máximo desenvolvimento da vegetação, normalmente com correspondência ao período de floração e/ou espigamento. Geralmente entre Junho ou início de Julho.
Primeiro de recrescimento da vegetação (RVG)	Valor registado para o primeiro aumento do NDVI após o pico do NDVI de final da Primavera e após o corte para feno no início do Verão	Primeiro recrescimento da vegetação que ocorre após o corte do feno, em condições favoráveis de temperatura e disponibilidade de água. Geralmente em Agosto.
<u>Métricas derivadas do NDVI</u>		
Período de desenvolvimento	Valor médio de NDVI entre IDV e MDV	Geralmente entre Março e Junho
Período seco	Valor médio de NDVI entre MDV e RVG	Geralmente entre Junho/Julho e Agosto
Período de Outono/Inverno	Valor médio de NDVI entre RVG e IDV do ano seguinte	Geralmente entre Setembro e Março do ano seguinte

3.5 MODELO PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO – MODELO METRIC

Para a estimativa da evapotranspiração em lameiros recorreu-se ao uso de um modelo baseado no balanço de energia, o modelo METRIC. De acordo com este modelo, os componentes do balanço são estimados a partir dos dados de reflectância e dados térmicos resultantes do sensor Landsat.

A evapotranspiração, convertida a partir do fluxo de calor latente (λE), é estimada pelo balanço de energia:

$$\lambda E = R_n - G - H \quad (3.5)$$

em que R_n é a radiação líquida ($W m^{-2}$), G o fluxo de calor do solo ($W m^{-2}$) e H o fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$).

Os algoritmos do METRIC (Allen et al. 2007b; Allen et al. 2007c) foram aplicados sobre toda a área de estudo (concelho de Montalegre). Deste modo foi possível obter informação não só em lameiros mas sobre todos os LCT, permitindo a comparação da procura evapotranspirativa em diferentes tipos de coberto vegetal.

3.5.1 Algoritmos de cálculo do METRIC

Seguindo o procedimento do modelo METRIC (Allen et al. 2007b), os componentes do balanço de energia foram estimados a partir de dados de: i) radiação de curto e longo comprimento de onda, albedo e emissividade da superfície para estimativa da radiação líquida (R_n); ii) temperatura de superfície, albedo e NDVI para o cálculo do fluxo de calor do solo (G); iii) temperatura de superfície para estimativa dos gradientes de temperatura entre duas alturas acima da superfície (dT), resistência aerodinâmica estimada e velocidade do vento para estimativa do fluxo de calor sensível (H) (Figura 3.5).

Deste modo, a radiação líquida (R_n) foi calculada através da equação do balanço de radiação (Allen et al. 2007b; Allen et al. 2007c):

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_o)R_{L\downarrow} \quad (3.6)$$

em que α é o albedo (adimensional), $R_{s\downarrow}$ é a radiação solar recebida de curto comprimento de onda ($W m^{-2}$), $R_{L\downarrow}$ é a radiação recebida de longo comprimento de onda ($W m^{-2}$), $R_{L\uparrow}$ é a radiação emitida em longo comprimento de onda ($W m^{-2}$) e ϵ_o é a emissividade (adimensional).

O fluxo de calor do solo foi calculado através da equação desenvolvida por Tasumi (2003):

$$\begin{aligned} G/R_n &= 0.05 + 0.18e^{-0.521LAI} \iff (LAI \geq 0.5) \\ G/R_n &= 1.80(T_s - 273.16)/R_n + 0.084 \iff (LAI < 0.5) \end{aligned} \quad (3.7)$$

em que R_n é a radiação líquida ($W m^{-2}$), LAI é o índice de área foliar estimado a partir do índice de vegetação SAVI (adimensional) e T_s é a temperatura de superfície (K).

O fluxo de calor sensível (H) foi calculado a partir da equação (Allen et al. 2007b; Allen et al. 2007c):

$$H = (\rho \cdot c_p \cdot dT) / r_{ah} \quad (3.8)$$

em que ρ é a densidade do ar (Kg m^{-3}), c_p é o calor específico do ar ($1004 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), dT é a diferença de temperatura entre duas alturas e r_{ah} é a resistência aerodinâmica para o transporte de calor (s m^{-1}).

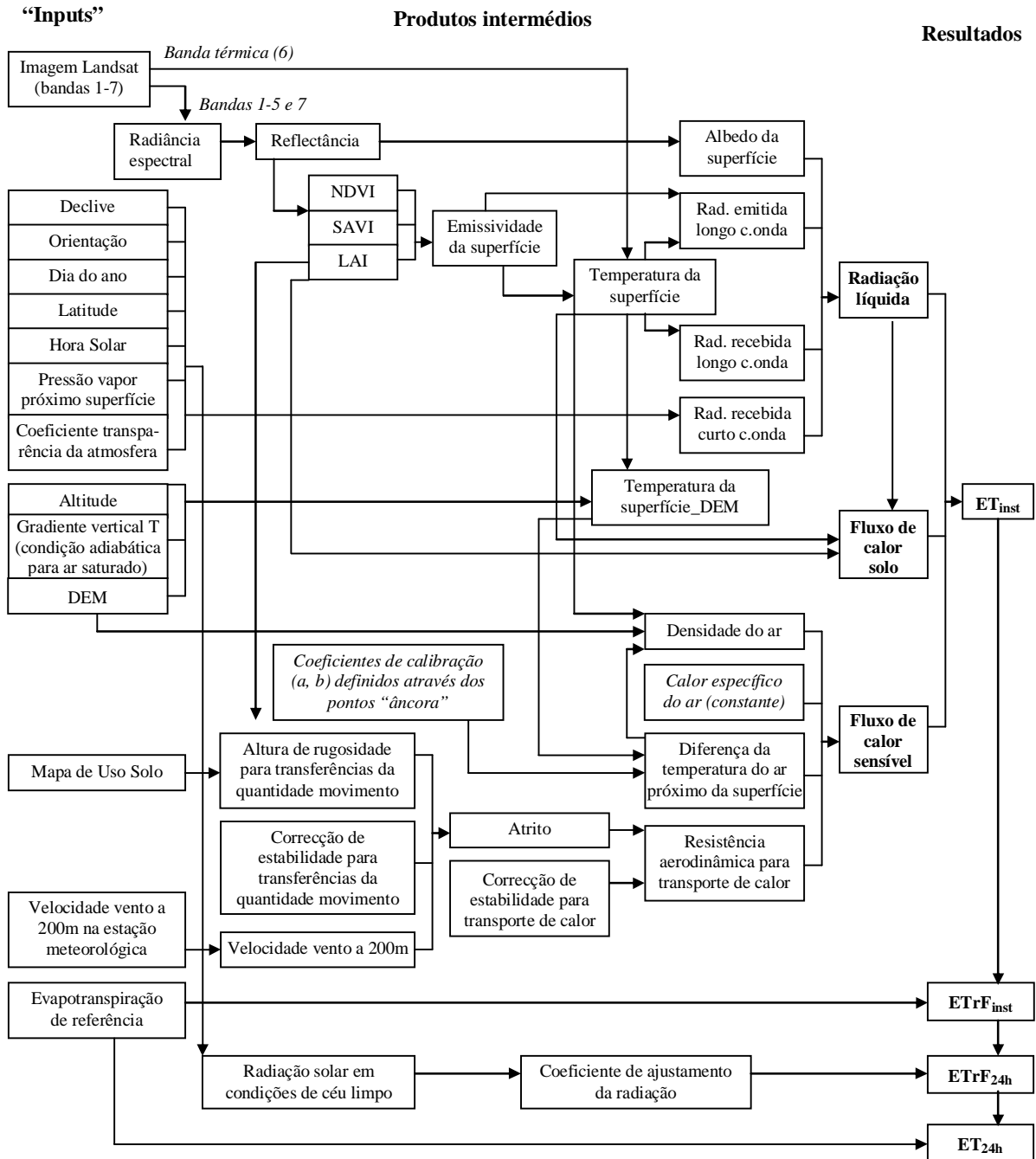


Figura 3.5 – Esquema simplificado dos algoritmos do METRIC para zonas de montanha, baseados em Allen et al. (2007b; 2007c).

A evapotranspiração (ET) foi calculada em cada pixel de acordo com a equação seguinte:

$$ET_{inst} = 3600 \frac{LE}{\lambda} \quad (3.9)$$

em que ET_{inst} é a ET instantânea ($mm\ h^{-1}$), 3600 é o factor de conversão do tempo de segundos para horas, LE é o fluxo de calor latente ($W\ m^{-2}$) e λ é o calor latente de vaporização ($J\ Kg^{-1}$).

O processamento do METRIC inclui também o cálculo da razão entre a ET calculada para cada pixel (ET_{inst}) e a evapotranspiração de referência ETr (de acordo com Allen et al. 2005b; Allen et al. 2007d), razão que define a fracção de evapotranspiração ($ETrF_{inst}$) (Figura 3.5). $ETrF$ representa a quantidade relativa de ET correspondendo a um tipo de vegetação específico, enquanto a ETr , por ser uma ET de referência, traduz a influência das condições meteorológicas na taxa de ET.

O cálculo da ET de referência através do método de Penman-Monteith é efectuado de acordo com a equação seguinte (Allen et al. 2007d):

$$ET_{ref} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (3.10)$$

em que ET_{ref} é a evapotranspiração de referência considerando culturas de referência baixas (ET_o) ou altas (ETr), em períodos diários ($mm\ d^{-1}$) ou horários ($mm\ h^{-1}$); R_n é a radiação líquida na superfície da cultura ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ ou $MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$); G é o fluxo de calor do solo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ ou $MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$); T é a temperatura média diária ou horária a uma altura entre 1.5 e 2.5 m ($^{\circ}C$); u_2 é a velocidade média do vento, diária ou horária, medida a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$); e_s é a pressão de vapor de saturação a uma altura entre 1.5 e 2.5 m (KPa); e_a é a pressão de vapor real a uma altura entre 1.5 e 2.5 m (KPa); Δ é o declive da curva de pressão de vapor ($KPa\ ^{\circ}C^{-1}$), γ é a constante psicrométrica ($KPa\ ^{\circ}C^{-1}$), C_n é uma constante que altera de acordo com o tipo de cultura de referência e o período de tempo considerados ($K\ mm\ s^3\ Mg^{-1}\ d^{-1}$ ou $K\ mm\ s^3\ Mg^{-1}\ h^{-1}$), C_d é uma constante que varia de acordo com a cultura de referência e o período de tempo considerados ($s\ m^{-1}$).

O valor de $ETrF_{inst}$ obtido em cada pixel corresponde à hora de captação da imagem, pelo que, em zonas de declive, é condicionado pela orientação do declive relativamente à posição do sol nesse momento. Deste modo, a extrapolação do $ETrF$ para um período de 24 horas ($ETrF_{24h}$) considera um factor de ajustamento (C_{rad}) definido em função da proporção da radiação solar diária potencial numa superfície com declive relativamente a uma superfície plana (Allen et al. 2007b):

$$ETrF_{24h} = C_{rad} \cdot ETrF_{inst} \quad (3.11)$$

O modelo permite ainda extrapolar a ET_{inst} para um período de 24 horas através da equação seguinte (Allen et al. 2007b):

$$ET_{24h} = ETrF_{24h} \cdot ET_r \quad (3.12)$$

em que ET_{24h} é a evapotranspiração diária ($mm\ d^{-1}$) para cada pixel, $ETrF_{24h}$ é a fracção de evapotranspiração para um período de 24 horas (adimensional) e ETr é a evapotranspiração de referência do dia de captação da imagem (Figura 3.5).

3.5.2 Dados de satélite usados na aplicação do METRIC

A metodologia do METRIC (Allen et al. 2007b; Allen et al. 2007c) foi aplicada em quatro imagens Landsat (path 204/row 31) da Primavera e Verão de 2002: 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 de Setembro. Foram apenas usadas imagens com processamento L1T – correcção geométrica e correcção do terreno – e projectadas de acordo com o sistema de coordenadas UTM (datum WGS84, projecção UTM Zona 29N).

Nas imagens de 29 de Maio e 22 de Junho não se registou presença de nuvens sobre toda a área de estudo. Na imagem de 30 Junho registaram-se algumas nuvens sobre Salto e na imagem de 2 de Setembro verificou-se uma percentagem muito reduzida de nuvens dispersas sobre Montalegre.

Para toda a área de estudo, foram calculados o NDVI (equação 2.2) e o índice de vegetação ajustado ao solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI) a partir dos dados de reflectância no topo da atmosfera obtidos das imagens Landsat.

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red} + L} \cdot (1 + L) \quad (3.13)$$

em que ρ_{NIR} corresponde à reflectância na banda do infravermelho próximo (adimensional) e ρ_{red} à reflectância na banda do vermelho (adimensional) do espectro electromagnético e L é uma constante ajustada em função das características do solo (Allen et al. 2007b).

3.5.3 Processamento dos dados meteorológicos e de vegetação

Conforme referido, para a aplicação do modelo METRIC foi determinada a evapotranspiração de referência (ETr) de acordo com o procedimento ASCE standardised Penman-Monteith alfalfa reference ET (Allen et al. 2005b), que assume como cultura de referência um extenso

coberto de luzerna bem abastecido em água. ETr e ETo (referente a relva) são bem relacionadas conforme Allen et al. (2007d). Neste estudo, a ETr é definida a partir de dados da estação meteorológica de Montalegre, pelo que não varia ao longo de toda a área de estudo. Utilizaram-se os seguintes dados meteorológicos para o cálculo da ETr: temperatura do ar, velocidade do vento, pressão de vapor e radiação solar. Os dados da temperatura do ponto de orvalho, pressão de vapor real, humidade relativa e radiação solar necessários para o cálculo da ETr, foram estimados através dos seguintes procedimentos:

- a temperatura do ponto de orvalho (T_{dew}) foi estimada através da temperatura mínima e posteriormente corrigida para os meses secos (Junho-Agosto), de acordo com o recomendado por Allen et al. (1998);
- a pressão de vapor real foi estimada a partir da temperatura mínima diária;
- a humidade relativa foi estimada a partir da pressão de vapor real e temperatura máxima diária;
- a radiação solar foi calculada assumindo que a radiação solar nos dias de passagem do satélite sobre a área de interesse foi correspondente à radiação solar em condições de céu limpo.

As referidas estimativas, bem como os cálculos da evapotranspiração de referência, foram efectuados no software REF-ET (Allen 2000).

Foram ainda usados dados de precipitação dos dias anteriores à captação das imagens para obter um balanço hídrico da superfície do solo e assim avaliar as condições de ET de um solo nu.

Os parâmetros meteorológicos fornecidos e estimados foram sujeitos a um controlo de qualidade de acordo com os procedimentos recomendados por Allen et al. (2005b).

Nos dias de captação das imagens de satélite não foi registada precipitação. No entanto, na avaliação dos resultados obtidos pelo METRIC foram consideradas as ocorrências de precipitação nos dez dias anteriores à captação de cada imagem:

- 40 mm antes de 29 de Maio, distribuídos por sete dias mas maioritariamente concentrados nos dias 22 (24 mm) e 23 (10 mm);
- 14 mm no dia 25 de Agosto (imagem Landsat de 2 de Setembro);
- Nos dez dias anteriores à captação das imagens de Junho não ocorreu precipitação.

Conforme referido, na aplicação do METRIC, além dos lameiros, foram também considerados outros LCT que integram a paisagem de montanha de Montalegre (Quadro 3.2).

Os LCT estudados apresentaram correspondência com as classes identificadas no Mapa de Uso do Solo definido pelo projecto *CORINE Land Cover 2000* (Quadro 3.6).

As classes do Mapa de Uso do Solo foram estabelecidas de acordo com a designação padrão (designação CLC) para a Europa e foram adaptadas às condições portuguesas (Néry 2002; Painho e Caetano 2006). Contudo, na interpretação dos resultados do METRIC foram consideradas algumas correcções ao Mapa de Uso do Solo com base em observações de campo na área de estudo em Montalegre. Por exemplo, parte da área da parcela de estudo de Salto está indevidamente definida no Mapa de Uso do Solo como cultura de sequeiro (211 no Quadro 3.6). De acordo com a informação recolhida em campo, a esta área corresponde pastagem.

Quadro 3.6 – Classes definidas no Mapa de Uso do Solo e sua correspondência com os tipos de coberto do solo considerados na aplicação do METRIC

Classes do Mapa de Uso do Solo		Tipos de coberto do solo (LCT) estudados*	
Designação	Código	Designação	Código
Pastagens	231	Lameiros	LMR
Agricultura com espaços naturais	243	Lameiros	LMR
Culturas anuais associadas a culturas permanentes	241	–	-
Culturas de sequeiro	211	Lameiros de sequeiro e culturas de sequeiro	LMS/CS
Espaços florestais deteriorados, cortes, novas plantações	324	–	-
Matas de folhosas	311	Matas de folhosas	MF
Matas de resinosas	312	Matas de resinosas	MR
Prados naturais	321	Baldios	BLD
Áreas arbustivas	322	Baldios	BLD
Vegetação esparsa	333	Baldios	BLD

* Neste estudo apenas foram considerados os tipos de coberto do solo mais importantes ao nível da região. Por isso, os tipos de coberto do solo correspondentes às classes 241 e 324 do Mapa de Uso do Solo não foram definidos.

3.5.4 Aplicação dos algoritmos do METRIC para a área de estudo

Na aplicação do METRIC na região de Montalegre foram considerados os algoritmos adaptados para as zonas de montanha (Figura 3.5), os quais integram cálculos para correcção da influência do declive, orientação e altitude na estimativa da radiação solar e da temperatura da superfície (Allen et al. 2007b). Para o efeito foram considerados mapas de declive e

orientação extraídos a partir de um modelo digital do terreno (DEM) (Figura 3.1). O DEM de Montalegre foi derivado a partir de dados de altimetria e planimetria (escala 1/10000), cedidos pela Câmara Municipal de Montalegre.

Para cada imagem foram seleccionados pontos “âncora” – um “hot” e um “cold” pixel (Allen et al. 2007b) – para calibração da diferença da temperatura do ar próximo da superfície (dT), usada no cálculo do H (Figura 3.5). Estes dois pontos “âncora” permitem a determinação dos coeficientes de calibração a e b (Figura 3.5), necessários à determinação da dT em cada pixel (Allen et al. 2007c):

$$dT = b + aT_s \quad (3.14)$$

em que T_s é a temperatura de superfície (K) e os coeficientes a e b determinados pelas equações seguintes (Allen et al. 2007c):

$$a = \frac{dT_{hot} - dT_{cold}}{T_{s_{hot}} - T_{s_{cold}}} \quad (3.15)$$

$$b = dT_{hot} - aT_{s_{hot}} \quad (3.16)$$

em que dT_{hot} é a diferença de temperatura no “hot” pixel (K), dT_{cold} é a diferença de temperatura no “cold” pixel (K), $T_{s_{hot}}$ é a temperatura de superfície no “hot” pixel (K) e $T_{s_{cold}}$ é a temperatura de superfície no “cold” pixel (K).

O “cold” pixel é normalmente seleccionado sobre um campo agrícola bem regado, fertilizado e sujeito a uma boa gestão da cultura, com ET correspondente a 1.05 da ETr ($E_{TrF_{cold\ pixel}} = 1.05$), i.e, correspondendo a condições de vegetação semelhantes a um coberto de luzerna bem regado, de acordo com o definido em Allen et al. (2007b). No entanto, uma vez que a gestão dos lameiros depende da disponibilidade de água e a vegetação raramente é fertilizada, foi necessário ajustar o valor do ETrF atribuído ao “cold” pixel, de modo a representar adequadamente as condições reais da cultura. Para o efeito considerou-se a informação dos coeficientes culturais (K_c) definidos por Allen et al. (1998). O K_c corresponde à razão entre a ET da cultura e a ET de referência calculada para um extenso relvado de referência, a ETo (diferente da ETr que considera a luzerna como cultura de referência). O K_c para o período intermédio em pastagens pastoreadas varia entre 0.7, no caso de pastoreio extensivo, e 0.8 a 1.0 no caso de pastoreio rotacional (Allen et al. 1998). Com base nesta informação, assumiu-se que o K_c dos lameiros não deveria exceder 1.0 para locais em que a quantidade de vegetação e a disponibilidade de água fosse máxima. Uma vez que o

Kc e o ETrF se baseiam em culturas de referência diferentes, foi necessário estabelecer a conversão entre Kc e ETrF. Esta conversão foi feita com base na equação (Allen et al. 1998):

$$K_{c(\text{baseado em luzerna})} = K_{c(\text{baseado num relvado})} / K_{\text{ratio}} \quad (3.17)$$

em que K_{ratio} traduz a razão entre a ETr e a ET_o^3 e o $K_{c(\text{baseado em luzerna})}$ corresponde ao ETrF.

O K_{ratio} é calculado de acordo com as condições de humidade relativa do ar e velocidade do vento (Allen et al. 1998):

$$K_{\text{ratio}} = 1.2 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{0.5}{3} \right)^{0.3} \quad (3.18)$$

em que u_2 é a velocidade do vento medida a 2 m ($m s^{-1}$) e RH_{min} é a humidade relativa mínima (%).

Assim, foi estabelecido para o “cold” pixel um ETrF = 0.83 (equivalente a $K_{c(\text{baseado num relvado})} = 1$). Porém, no caso da imagem de 29 de Maio de 2002, em que a disponibilidade de água sobre as áreas de estudo foi elevada devido à ocorrência de precipitação nos dias que antecederam a captação da imagem, o valor do ETrF para o “cold” pixel foi ajustado para 0.9.

O “hot” pixel foi definido para todas as imagens sobre um solo agrícola nu e suficientemente seco, de modo que a ET fosse muito baixa ou nula, resultando possível assumir $H = R_n - G$ (Allen et al. 2007b). Nas situações em que se registou ocorrência de precipitação nos dias anteriores à captação da imagem, nomeadamente na imagem de 29 de Maio, foi obtido um valor de ET sobre solo nu ($ET_{\text{solo nu}}$), através do balanço hídrico da superfície do solo, e o H foi considerado igual a $R_n - G - ET_{\text{solo nu}}$.

Para estabelecer as condições de rugosidade associadas a cada tipo de coberto, necessárias ao cálculo do H, foi utilizado o mapa de uso do solo estabelecido pelo projecto CORINE Land Cover 2000 (escala 1/100000) (Figura 3.5).

Toda a cartografia usada na aplicação do METRIC foi projectada de acordo com o sistema de coordenadas das imagens Landsat: WGS84, projecção UTM Zona 29.

A aplicação do METRIC foi realizada no software ERDAS IMAGINE v.9.1 (Leica 2006).

³ ET_o e ETr representam ambos a evapotranspiração de referência, mas são calculados de acordo com procedimentos distintos: Allen et al. (1998) e Allen et al. (2005), respectivamente (vd. Allen et al. 2007d).

3.6 CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DA PAISAGEM COM RECURSO AO METRIC

Dados derivados da aplicação do METRIC foram também usados para obter uma caracterização biofísica dos principais LCT (ver Quadro 3.2).

Uma série de combinações de produtos intermédios e finais do METRIC (Figura 3.5), de seguida referidos como variáveis, e de datas de imagens Landsat de 2002 (29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 de Setembro) foram testadas na implementação do processo de caracterização biofísica. As variáveis testadas foram os componentes do balanço de energia (ET, R_n, G e H), o NDVI e a temperatura de superfície ajustada à modelação do terreno (T_{SD_{DEM}}). A selecção destas variáveis decorreu do facto de as características da vegetação e fenologia afectarem processos como a absorção e re-emissão da radiação solar, os fluxos de calor sensível e calor latente, a evapotranspiração e a fotossíntese.

Para proceder à caracterização biofísica foi necessário testar a capacidade das diferentes combinações de variáveis e imagens para discriminar entre os diferentes LCT.

Foram seleccionadas seis parcelas de cada LCT nos dois locais de estudo considerados – Paredes do Rio e Salto –, ou na sua vizinhança (Quadro 3.7). No processo de discriminação dos LCT, das seis parcelas de estudo por LCT, três foram usadas para treino do processo e as outras três para a sua validação (Quadro 3.7).

Cada uma das seis variáveis foi testada individualmente e em grupos de dois, três ou quatro variáveis. Todas as combinações de variáveis foram testadas usando:

- i) cada imagem individualmente;
- ii) grupos de duas imagens – 29 de Maio e 22 de Junho de 2002; 29 de Maio e 2 de Setembro de 2002; 22 de Junho e 2 de Setembro de 2002;
- iii) grupo de imagens de Primavera e início de Verão – 29 de Maio, 22 de Junho e 30 de Junho de 2002;
- iv) grupo de quatro imagens – 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 de Setembro de 2002.

Foi testado o rigor da discriminação entre LCT usando apenas o NDVI (abordagem radiométrica) e usando as diversas variáveis calculadas através do METRIC (abordagem biofísica). Os resultados foram analisados em vários passos com vista a seleccionar a melhor combinação de variáveis e de datas de imagens para a referida discriminação e subsequente caracterização dos LCT.

Quadro 3.7 – Número de pixéis por parcela em cada um dos locais de estudo (Paredes do Rio – PRR e Salto – SLT)

Tipo de coberto do solo (LCT)	Parcelas de Treino (n° de pixéis*)			Parcelas de Validação (n° de pixéis*)		
	Siglas	PRR	SLT	Siglas	PRR	SLT
Lameiros de regadio – LMR	LMR1	35	41	LMR4	22	36
	LMR2	23	61	LMR5	20	28
	LMR3	25	46	LMR6	27	15
Lameiros de sequeiro – LMS	LMS1	18	38	LMS4	-	-
	LMS2	18	47	LMS5	-	-
	LMS3	-	35	LMS6	-	-
Baldios – BLD	BLD1	60	81	BLD4	24	30
	BLD2	70	46	BLD5	32	18
	BLD3	42	72	BLD6	18	16
Culturas de sequeiro – CS	CS1	35	43	CS4	14	15
	CS2	23	59	CS5	17	22
	CS3	46	45	CS6	24	26
Matas de folhosas – MF	MF1	112	42	MF4	22	20
	MF2	29	18	MF5	20	12
	MF3	65	33	MF6	66	10
Matas de resinosas – MR	MR1	31	349	MR4	17	16
	MR2	24	63	MR5	20	20
	MR3	42	70	MR6	14	20

(*) O número de pixéis foi estabelecido considerando imagens Landsat com pixel de 30m;

Foram usadas matrizes de correlação de Pearson para eliminar variáveis significativamente correlacionados entre si ($p > 0.05$). Foi aplicado o teste da distância de Mahalanobis, que mede a distância de cada observação ao centro médio das observações num espaço multidimensional (Hair et al. 1998), no sentido de identificar e eliminar valores atípicos (*outliers*) multivariados das parcelas de estudo selecionadas.

Para avaliar os resultados das combinações de variáveis e imagens para a discriminação e caracterização dos LCT foram usadas duas metodologias complementares de análise multivariada:

- análise de “clusters” para agrupar os LCT de acordo com a sua similaridade;
- análise em componentes principais (PCA) para avaliar a influência de cada variável sobre o LCT (Hair et al. 1998). Para os testes de combinações envolvendo apenas uma ou duas variáveis e em que as imagens foram analisadas individualmente apenas foi aplicada a análise de “clusters”.

Para a implementação destas duas metodologias de análise multivariada foi utilizado o software JMP vs. 3.2.2 (SAS 1997).

O rigor obtido na discriminação dos LCT, através das diferentes combinações de variáveis e imagens, foi avaliado através da construção de matrizes de confusão com base nos resultados da análise de “clusters”. A partir destas matrizes foram calculados o rigor global e coeficiente de Kappa (Foody 2002). O rigor global corresponde à percentagem de casos correctamente agrupados num LCT; esta percentagem é calculada ao longo da diagonal da matriz de confusão. Ao contrário do rigor global, que apenas considera os valores correctamente classificados, o coeficiente Kappa considera os valores da diagonal principal e os valores marginais da matriz de confusão (equação 3.19) (Foody 2002; Richards and Jia 2006).

$$\text{Coeficiente Kappa} = \frac{n \sum_{k=1}^q n_{kk} - \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}}{n^2 - \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}} \quad (3.19)$$

em que n corresponde ao número total de pixéis amostrados, q é o número de classes (LCT), n_{kk} corresponde aos elementos da diagonal principal da matriz de confusão, n_{k+} corresponde ao número de observações por linha (na matriz) e n_{+k} é o número de observações por coluna (na matriz).

A projecção dos LCT de acordo com os resultados da análise em componentes principais, utilizando a melhor combinação de variáveis e imagens, permitiu uma caracterização biofísica dos diferentes cobertos vegetais caracterizadores do mosaico paisagístico de Montalegre em diferentes períodos do ano.

3.7 ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS LAMEIROS NA PAISAGEM – CLASSIFICAÇÃO DA PAISAGEM

No estudo da evolução dos lameiros na paisagem de Montalegre foram consideradas imagens Landsat. Este sensor possui um amplo arquivo de imagens, permitindo a análise de três décadas. Foram consideradas três imagens – Landsat2 MSS de 30 de Abril de 1979, Landsat5 TM de 14 de Março de 1989 e Landsat7 ETM+ de 29 de Maio de 2002 – sobre as quais foi aplicada uma metodologia de classificação supervisionada (Quadro 2.7).

Antes da implementação dos procedimentos de classificação procedeu-se à ortorrectificação das imagens de 1979 e 1989, usando como referência a imagem Landsat de 29 de Maio de

2002 (adquirida com correcção do terreno, LIT) e como base cartográfica altimétrica o modelo digital do terreno para região de Montalegre. Sobre a imagem de referência e a imagem para ortorrectificar foram marcados pontos de controlo, ajustados em função da informação de altimetria. Cada par de pontos de controlo foi seleccionado sobre pontos facilmente identificáveis quer na imagem de referência quer na imagem a ortorrectificar. Na imagem de 30 de Abril de 1979, foram marcados 20 pontos de controlo com um erro médio associado de 0.63×0.76 pixéis, enquanto na imagem de 14 de Março de 1989 foram marcados 22 pontos, com um erro médio associado de 0.35×0.37 pixéis. Em anexo encontram-se os relatórios dos erros resultantes do processo de ortorrectificação (Anexo 7).

Na ortorrectificação das duas imagens foi considerada uma reamostragem usando o algoritmo do vizinho mais próximo, à semelhança do processamento aplicado na imagem de referência de 29 de Maio de 2002, adquirida através dos serviços da *U.S. Geological Survey*.

A reamostragem foi aqui usada para corrigir a distorção geométrica causada pela atribuição de um sistema de referência às imagens. Este procedimento permite determinar os valores espectrais dos pixéis na sua nova localização na imagem corrigida, de acordo com diferentes tipos de algoritmos. O algoritmo do vizinho mais próximo considera para valor numérico de um determinado pixel o valor do pixel vizinho cujo centro esteja mais próximo. Este método é indicado quando se pretende realizar a classificação da imagem, uma vez que mantém a integridade radiométrica do pixel, apenas re-arranjando a sua posição (Richards e Jia 2006).

No caso da imagem MSS de 1979, adquirida com pixel de 57 m x 57 m, antes da ortorrectificação foi ainda necessário um processamento de reamostragem da imagem para um pixel de 30 m x 30 m. Para o efeito foi criada uma imagem com tamanho do pixel de 30 m x 30 m, sobre a qual se definiram cantos correspondentes aos da imagem original. Sobre a nova imagem foi aplicada uma transformação de primeira ordem e uma reamostragem segundo o método do vizinho mais próximo de modo a criar uma imagem georreferenciada com o tamanho do pixel desejado.

Ortorrectificadas as imagens, procedeu-se a uma classificação supervisionada, considerando a informação das bandas 1-5 e 7 (1-4 no caso da imagem Landsat2 MSS de 30 de Abril de 1979), bem como dados do NDVI. A classificação foi aplicada sobre uma imagem rectangular incluindo todo o concelho de Montalegre (1317 linhas x 1614 colunas), sobre a qual foi posteriormente aplicada uma “máscara” do concelho de modo a restringir a classificação apenas à área de interesse.

Para a classificação das imagens foram definidas 11 classes, considerando os principais tipos de coberto do solo:

- Lameiros (pastagens);
- Outra agricultura (outras culturas agrícolas);
- Vegetação esparsa;
- Vegetação arbustiva densa;
- Vegetação arbustiva pouco densa;
- Vegetação arbustiva baixa;
- Matas de folhosas;
- Matas de resinosas;
- Solo/rocha nua;
- Áreas urbanas;
- Água.

Para cada uma das classes definidas, foram seleccionados, em cada imagem, conjuntos de pixéis em diferentes localizações da imagem, os quais constituíram áreas de treino. Foi considerado um mínimo de $N+1$ pixéis de treino por classe e, sempre que possível, acima de $N*10$ de acordo com o recomendado por Swain e Davis (1978) citados por Richards e Jia (2006), sendo N o número de bandas espectrais (4 bandas na imagem de 1979 e 6 bandas nas imagens de 1989 e 2002).

Os dados de treino permitiram a definição de uma assinatura espectral para cada uma das classes, a partir das quais se processou a classificação de toda a imagem segundo o algoritmo da máxima verosimilhança. Segundo este algoritmo, a probabilidade de a um determinado pixel x ser atribuída a classe w_i é definida de acordo com a condição obtida através da função de probabilidade de Bayes (Richards e Jia 2006):

$$x \in w_i \text{ se } p(w_i | x) > p(w_j | x) \text{ para } j \neq i \quad (3.20)$$

em que $p(w_i|x)$ corresponde à probabilidade de a classe correcta a atribuir ao pixel na posição x ser w_i . Contudo, a probabilidade $p(w_i|x)$ é desconhecida. No entanto, as áreas de treino definidas para cada classe podem ser usadas para estimar a distribuição da probabilidade que descreve a hipótese de encontrar um pixel da classe w_i na posição x – $p(x|w_i)$. A probabilidade $p(x|w_i)$ é definida de acordo com a equação (Richards e Jia 2006):

$$p(w_i | x) = p(x | w_i) * p(w_i) / p(x) \quad (3.21)$$

em que $p(x)$ corresponde a:

$$p(x) = \sum_{i=1}^m p(x | w_i) p(w_i) \quad (3.22)$$

e $p(w_i)$ é a probabilidade à priori, isto é, a probabilidade com que se pode prever a classe que vai ser atribuída a um determinado pixel antes da classificação.

Deste modo, a função de probabilidade vem dada pela equação:

$$x \in w_i \text{ se } p(x | w_i) p(w_i) > p(x | w_j) p(w_j) \text{ para } j \neq i \quad (3.23)$$

A função de probabilidade é calculada a partir dos dados das classes definidos nas áreas de treino, considerando a média e a variância/covariância do padrão espectral de cada classe (Short 2009). O classificador da máxima verosimilhança assume uma distribuição normal do padrão espectral de cada classe (Xie et al. 2008), tendo esta condição sido verificada através da análise dos histogramas da resposta espectral das áreas de treino em cada banda.

O classificador da máxima verosimilhança usa um valor limite (*threshold*) – T_i – para determinar se o pixel é ou não atribuído a uma determinada classe. Este limite é aplicado à função discriminante $g_i(x)$ (equação 3.24) (Richards e Jia 2006) definida a partir da distribuição de probabilidade (equação 3.23).

$$g_i(x) = \ln\{p(x | w_i) p(w_i)\} = \ln p(x | w_i) + \ln p(w_i) \quad (3.24)$$

A resposta espectral de uma classe é definida pelas regiões do espaço multiespectral em que a função discriminante é maior. Deste modo, a regra de decisão para a atribuição de um pixel a uma determinada classe, considerando o valor limite (T_i), é dada pela equação:

$$x \in w_i \text{ se } g_i(x) > g_j(x) \text{ para } j \neq i \text{ e } g_i(x) > T_i \quad (3.25)$$

Neste estudo foi considerado como limite o valor definido por defeito no software usado, PCI Geomatica (valor = 3).

Na avaliação dos resultados obtidos no treino das imagens, foram considerados os valores de separabilidade entre classes, de acordo com a distância Bhattacharrya (BD). Esta distância (Richards e Jia 2006) é calculada pela equação:

$$J_{ij} = 2 * [1 - e^{-B}] \quad (3.26)$$

em que J_{ij} representa a distância Bhattacharrya entre as classes i e j (para classes com distribuição normal) e B é dado por:

$$B = \frac{1}{8}(m_i - m_j)^{-1} \left\{ \frac{\sum i + \sum j}{2} \right\}^{-1} (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{(\sum i + \sum j)/2}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}} \right\} \quad (3.27)$$

em que m_i e m_j são os vectores médios para as classes i e j .

Os valores para a distância Bhattacharrya variam entre 0 e 2, sendo que 0 corresponde à total sobreposição das assinaturas espectrais de duas classes e 2 à completa separação entre duas classes (Quadro 3.8).

Quadro 3.8 – Rigor da separabilidade para diferentes intervalos de valor de separabilidade (PCI_Geomatica 2001; Richards e Jia 2006)

Valores de separabilidade	Características
0 – 1	Muito baixa separabilidade
1.0 – 1.9	Pouca separabilidade
1.9 – 2.0	Boa separabilidade

Para cada uma das classes, foram ainda definidas áreas de validação, tomando como referência a informação recolhida em campo, dados do ortofotomapa (2003) e dados das imagens de satélite. As áreas de validação foram usadas para avaliar os resultados da classificação.

A aplicação do classificador de máxima verosimilhança, que é um classificador per-pixel (Quadro 2.8), não considera qualquer relação entre o pixel a classificar e os seus vizinhos mais próximos, pelo que pode produzir efeitos de ruído tipo “salt & pepper” nos mapas resultantes da classificação (Lu e Weng 2007). Deste modo, é frequente o recurso a filtros para reduzir o ruído associado aos produtos cartográficos resultantes e realçar as classes dominantes (Lu e Weng 2007; Richards e Jia 2006). Neste trabalho foi considerado um filtro moda 3x3, que atribui ao pixel central, numa janela 3x3, o valor que mais frequentemente ocorre entre os vizinhos.

O rigor da classificação foi analisado através de matrizes de confusão, a partir das quais foram calculados o rigor global e o coeficiente Kappa (equação 3.19).

Na implementação da ortorrectificação das imagens e da metodologia de classificação foi utilizado o software Geomatica v8.2 (PCI_Geomatics 2001).

A partir dos resultados da classificação foram calculadas métricas da paisagem, no sentido de quantificar os padrões da paisagem.

Foram consideradas métricas ao nível da mancha, classe e paisagem. O nível das manchas representa a unidade base da paisagem e considera áreas homogêneas que diferem das áreas adjacentes em natureza ou aparência (Turner et al. 2001). O nível das classes considera cada tipo de mancha e o nível da paisagem considera o mosaico paisagístico como um todo.

Nas métricas da mancha foi apenas calculada a área, tendo posteriormente sido derivado o número de manchas em função de classes de área. Para os níveis da classe e da paisagem foram consideradas métricas de área, forma, contágio/difusão e, no caso da paisagem foram ainda calculados índices de diversidade (Anexo 8).

Para os níveis da classe e da paisagem foram analisadas as correlações entre as métricas de cada um dos tipos, através de uma matriz de correlação, de modo a seleccionar apenas as métricas não correlacionadas (tendo por referência os valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson). Na sequência deste procedimento foram seleccionadas quatro métricas de área, uma métrica de forma e três métricas de contágio/difusão para o nível da classe.

Para o nível da paisagem foram seleccionadas três métricas de área e uma métrica de forma. Relativamente às métricas de contágio/difusão para o nível da paisagem, todas se revelaram muito correlacionadas pelo que se optou por considerar apenas o índice de contágio (CONTAG). Também as métricas da diversidade (paisagem) se revelaram muito correlacionadas entre si, pelo que se seleccionaram apenas duas: o índice de diversidade de Simpson, por ser menos sensível à presença de tipos de manchas raros e ser mais intuitivo que o índice de Shannon (McGarigal e Marks 1995), e o índice de uniformidade de Simpson.

No Quadro 3.9 estão sumariadas as métricas consideradas na caracterização da paisagem de Montalegre. O software usado no cálculo das métricas foi o FRAGSTATS vs. 3.3 (McGarigal e Marks 1995).

Quadro 3.9 – Métricas usadas na caracterização do mosaico paisagístico de Montalegre

Métricas	Tipo de métricas	Descrição	Níveis de análise		
			Mancha	Classe	Paisagem
Área total – CA (ha)	Área	Área total por mancha, classe ou paisagem	x	x	x
Número de manchas – PN	Área	Número de manchas por classe na paisagem. Indica o nível de subdivisão ou fragmentação de cada classe ou da paisagem		x	x
Área média da mancha – AREA_MN (ha)	Área	Atributo espacial da mancha. Serve de base ao cálculo de diversos índices para os níveis da mancha, classe e paisagem		x	
Índice da mancha maior – LPI (%)	Área	Porcentagem total da área de estudo contida na maior mancha de cada classe		x	x
Índice da forma (média) – SHAPE_MN (> 1)	Forma	Quantifica a complexidade das formas em diferentes níveis da paisagem. Quanto maior a complexidade da forma maior o índice			x
Índice da forma (média ponderada) – SHAPE_AM	Forma			x	
Índice de difusão/ Justaposição – IJI (%)	Contágio / Difusão	Extensão com que um determinado tipo de mancha está espalhado (i.é. mais ou menos igualmente adjacentes entre si)		x	
Índice de divisão da paisagem – DIVISION [0,1]	Contágio / Difusão	Mede o grau de divisão da paisagem. Baseia-se na distribuição da área da mancha acumulada e é interpretado como a probabilidade de pixéis escolhidos aleatoriamente na paisagem não se situarem na mesma mancha		x	
Índice de agregação – AI (%)	Contágio / Difusão	Mede o grau de agregação da paisagem através de uma matriz de adjacências, que mostra a frequência com que cada um dos diferentes pares de manchas (de uma mesma classe) aparece lado a lado no mapa		x	
Contágio – CONTAG (%)	Contágio / Difusão	Grau de agregação de pixéis de uma mesma classe, pelo que é um índice de vizinhança baseado no pixel (Gustafson 1998; Hargis et al. 1998)			x
Índice de diversidade de Simpson – SIDI [0, 1]	Diversidade	Índice de diversidade da paisagem, que quantifica a composição da paisagem			x
Índice de equitabilidade de Simpson – SIEI [0, 1]	Diversidade	Quantifica a uniformidade de distribuição das manchas das diferentes classes na paisagem			x

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESOLUÇÃO DOS SENSORES NA MONITORIZAÇÃO DOS LAMEIROS

4.1.1 Sensores Landsat (TM e ETM+) e SPOT (HRV, HRVIR, HRG)

Na avaliação da adequabilidade dos sensores Landsat5 TM e Landsat7 ETM+ e SPOT2 HRV, SPOT4 HRVIR e SPOT5 HGR para a monitorização de lameiros foram consideradas as imagens reamostradas para pixel 5 m x 5 m (Quadro 3.3). Para este efeito foram apenas considerados os dados da área de estudo de Salto (Quadro 3.1), por não se dispor de dados para a parcela de lameiros de sequeiro em Paredes do Rio entre Julho de 2007 e Janeiro de 2008. Tal deveu-se à alteração da gestão da referida parcela pelo proprietário, o que obrigou à selecção de uma nova parcela de lameiros de sequeiro em Paredes do Rio (LMS_PRR).

O cálculo da correlação de Pearson para cada par “imagem de satélite – espectrorradiómetro” para os valores de NDVI normalizados (equação 3.4) permitiu comparar o comportamento de cada um dos sensores de satélite com o comportamento obtido a nível da parcela (Quadro 4.1).

De acordo com os resultados, verifica-se uma correlação estatisticamente significativa entre os índices de vegetação obtidos com o espectrorradiómetro e com o SPOT e Landsat no período entre Junho e Outubro. Relativamente aos meses de Fevereiro e Março, a correlação entre os NDVI obtidos pelo espectrorradiómetro e pelo Landsat foi estatisticamente significativa, enquanto a correlação com os NDVI derivados do SPOT (mês de Março) não foi significativa (Quadro 4.1). No período de Inverno (Novembro a Janeiro), as correlações entre os NDVI ao nível da parcela e dos satélites foram menos consistentes, o que poderá resultar das condições luminosidade menos favoráveis nesse período, com consequências sobre os valores de NDVI.

A comparação das médias dos NDVI referentes a lameiros de regadio e de sequeiro em diferentes períodos do ano são apresentadas no Quadro 4.2. O NDVI utilizado nesta comparação foi obtido através de amostragens ao nível da parcela com espectrorradiómetro (Sp) e com os sensores SPOT2 HRV, SPOT4 HRVIR e SPOT5 HGR e Landsat5 TM e Landsat7 ETM+ (Quadro 3.1).

Quadro 4.1. Valores médios e coeficiente de correlação (r) entre os valores mensais de NDVI normalizado (NDVI_{corr}) obtidos pelo espectralradiômetro (Sp) e por diferentes sensores de satélite (Sat) entre Julho de 2007 e Junho de 2008.

Mês	NDVI _{corr}	SPOT (10m)*			SPOT (20m)*			Landsat (30m)*		
		Média	r	n	Média	r	n	Média	r	n
Jul	Sp	-	-	-	0.15	0.74**	12	0.14	0.91**	6
	Sat	-	-	-	0.12	-	-	0.17	-	-
Ago	Sp	0.09	0.90*	12	0.09	0.95**	6	-	-	-
	Sat	0.12	-	-	0.10	-	-	-	-	-
Set	Sp	0.16	0.79**	6	-	-	-	0.16	0.74**	12
	Sat	0.15	-	-	-	-	-	0.16	-	-
Out	Sp	-	-	-	-	-	-	0.38	0.78*	6
	Sat	-	-	-	-	-	-	0.38	-	-
Nov	Sp	-	-	-	-	-	-	0.45	0.04	6
	Sat	-	-	-	-	-	-	0.39	-	-
Dez	Sp	0.55	-0.17	12	-	-	-	0.83	-0.02	12
	Sat	0.53	-	-	-	-	-	0.55	-	-
Jan	Sp	0.30	0.44	6	-	-	-	-	-	-
	Sat	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev	Sp	-	-	-	-	-	-	0.38	0.53*	12
	Sat	-	-	-	-	-	-	0.33	-	-
Mar	Sp	0.25	-0.05	12	0.25	0.03	6	0.25	0.62*	9
	Sat	0.26	-	-	0.18	-	-	0.21	-	-
Abr	Sp	0.21	0.56	6	-	-	-	-	-	-
	Sat	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun	Sp	0.16	0.76*	6	0.16	0.79*	6	0.16	0.81*	6
	Sat	0.26	-	-	0.16	-	-	0.13	-	-

NDVI_{corr}: NDVI normalizado de acordo com a equação 3.4;

n: número de observações;

Significância dos coeficientes de correlação: 5% (*) e 1% (**)

* SPOT (10m) corresponde ao sensor SPOT5 HRG; SPOT (20m) corresponde aos sensores SPOT4 HRVIR e SPOT2 HRV; Landsat (30m) corresponde aos sensores Landsat5 TM e Landsat7 ETM+

Os resultados do Quadro 4.2 mostram que os NDVI obtidos com os diferentes sensores nos meses de Junho a Outubro permitiram distinguir entre lameiros com diferentes regimes hídricos (LMR e LMS). No período de Inverno e início da Primavera a diferença entre os valores de NDVI dos dois tipos de lameiros não foi estatisticamente significativa em alguns sensores. Esta menor diferença dos NDVI entre LMR e LMS poderá estar associada à homogeneidade da vegetação originada pela disponibilidade de água, decorrente da precipitação que ocorre na região nesta altura do ano. No período 1991-2007, o valor médio de precipitação para os meses de Janeiro – Março foi de 446.3 mm (30.7% da precipitação anual), enquanto, durante os períodos de Primavera e Verão, os valores registados representaram 17.8% e 9.7%, respectivamente. No entanto, existem algumas situações pontuais, nomeadamente para Janeiro (imagem SPOT, 10 m), Fevereiro e uma das imagens de

Março (imagens Landsat), em que a distinção entre lameiros de regadio e sequeiro foi significativa (Quadro 4.2). Esta diferenciação pode ser atribuída a diferenças nas condições das pastagens no período de captação da imagem de satélite (ocorrência de geada forte, manejo da pastagem ou pastoreio).

Quadro 4.2. Comparação dos valores de NDVI médios (n=3) obtidos pelos diferentes sensores e espectrorradiômetro, em lameiros de regadio (LMR) e lameiros de sequeiro (LMS) em Salto.

Mês	Tipo de lameiro	Sensores											
		SPOT (10m)*			SPOT (20m)*			Landsat5*		Landsat7*			
		Sp	D1	D2	Sp	D1	D2	Sp	D1	Sp	D1	D2	
Jul	LMR				0.82	0.84	0.76			0.83	0.71		
	LMS				0.64	0.61	0.56			0.59	0.50		
	Sign.				0.044	0.000	0.000			0.001	0.004		
Ago	IM	0.65	0.68	0.63	0.65	0.61							
	LMS	0.27	0.37	0.45	0.27	0.38							
	Sign.	0.003	0.015	0.001	0.003	0.001							
Set	IM	0.70	0.71					0.71	0.77				
	LMS	0.49	0.49					0.48	0.43				
	Sign.	0.100	0.000					0.088	0.000				
Out	IM							0.77	0.69	0.77	0.73		
	LMS							0.59	0.66	0.60	0.64		
	Sign.							0.046	0.173	0.046	0.021		
Nov	IM									0.44	0.59	0.69	
	LMS									0.51	0.65	0.70	
	Sign.									0.542	0.180	0.691	
Dez	IM	0.43	0.62	0.65				0.66	0.42				
	LMS	0.43	0.63	0.60				0.64	0.41				
	Sign.	0.928	0.818	0.313				0.707	0.942				
Jan	IM	0.48	0.65										
	LMS	0.45	0.53										
	Sign.	0.484	0.041										
Fev	IM									0.69	0.57	0.63	
	LMS									0.41	0.44	0.61	
	Sign.									0.018	0.000	0.257	
Mar	IM	0.57	0.47	0.66	0.57	0.53		0.57	0.70				
	LMS	0.58	0.43	0.57	0.58	0.51		0.58	0.66				
	Sign.	0.754	0.234	0.072	0.754	0.678		0.754	0.043				
Abr	IM	0.64	0.73										
	LMS	0.67	0.63										
	Sign.	0.829	0.089										
Jun	IM	0.81	0.85		0.81	0.76				0.83	0.82		
	LMS	0.71	0.80		0.71	0.56				0.72	0.75		
	Sign.	0.015	0.031		0.015	0.002				0.017	0.016		

Sign – Probabilidade associada ao teste F da ANOVA; Sp – espectrorradiômetro; LMR – lameiros de regadio; LMS – lameiros de sequeiro; Quando para um dado sensor existe mais de uma data no mesmo mês, a data mais precoce foi designada D1 e a mais tardia D2.

* SPOT (10m) corresponde ao sensor SPOT5 HRG; SPOT (20m) corresponde aos sensores SPOT 4 HRVIR e SPOT 2 HRV; Landsat5 corresponde ao Landsat5 TM; Landsat7 corresponde ao Landsat7 ETM+.

Não se dispõe de dados de NDVI para o mês de Maio uma vez que as condições meteorológicas durante Maio de 2008 inviabilizaram a medição de reflectância no campo, com o espectrorradiómetro. No final da Primavera, concretamente em Junho, os diversos sensores testados permitiram já a detecção de diferenças significativas consistentes entre NDVIs de LMR e LMS.

Estes resultados encontram-se em consonância com os obtidos por Price et al. (2002), que conseguiram uma boa discriminação entre diferentes tipos de pastagens com imagens Landsat (30 m de resolução espacial) de Primavera e Verão, concretamente Maio, Julho e Setembro, e com os resultados de He et al. (2007), que constataram o potencial de imagens SPOT4 (resolução espacial de 20 m) para detectar variações sobre a vegetação de pastagens.

Da análise dos coeficientes de variação do NDVI obtido através do espectrorradiómetro constata-se uma maior variabilidade relativamente à registada nos restantes sensores, o que se poderá justificar pelo facto de o número de píxeis amostrados em cada ponto de medição com o espectrorradiómetro ser muito menor do que o amostrado por qualquer dos sensores de satélite estudados. Informação mais detalhada sobre os coeficientes de variação é apresentada no Anexo 9. É de realçar a relevância das medições multi-temporais de reflectância com o espectrorradiómetro para detectar alterações nas características da vegetação e alterações do coberto ao longo da fase de crescimento, decorrentes do clima ou de práticas culturais (Price et al. 2001).

Da análise dos resultados constata-se que não se verificam grandes diferenças entre o comportamento dos sensores Landsat (TM e ETM+) e SPOT (HRV, HRVIR, HRG). Deste modo, a opção pela utilização de qualquer um destes sensores para a monitorização dos lameiros poderá ter em consideração outro tipo de factores além da resolução espacial, nomeadamente a facilidade de obtenção de imagens, o arquivo histórico de imagens e a presença/ausência de banda térmica. Comparativamente ao SPOT, o Landsat permite acesso a um mais amplo arquivo temporal de imagens (desde 1977) e possui banda térmica, factores com interesse para o estudo da evolução dos lameiros na paisagem nas últimas três décadas e para estimação de consumos de água neste tipo de pastagens semi-naturais.

4.1.2 Sensor SPOT-VEGETATION

Devido à baixa resolução espacial do satélite SPOT-VEGETATION (VGT), não foi considerada a distinção entre lameiros com diferentes regimes hídricos nas parcelas em estudo (Figura 3.3).

A relação entre a altura da vegetação medida em campo e o NDVI derivado a partir de dados do satélite ($NDVI_{VGT}$) ou do espectrorradiômetro ($NDVI_{Sp}$), no período entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008, foi avaliada nos dois locais de estudo. Procedeu-se ao ajustamento de modelos de regressão entre a altura da vegetação e o $NDVI_{VGT}$ ou $NDVI_{Sp}$. Os resultados revelaram-se estatisticamente significativos ($R^2 > 0.46$; $p < 0.01$) em ambos os casos (Figura 4.1). A relação não linear, do tipo logarítmica, encontrada em ambos os casos, indica-nos que o aumento do NDVI é menos que proporcional que o aumento da altura da vegetação (Figura 4.1).

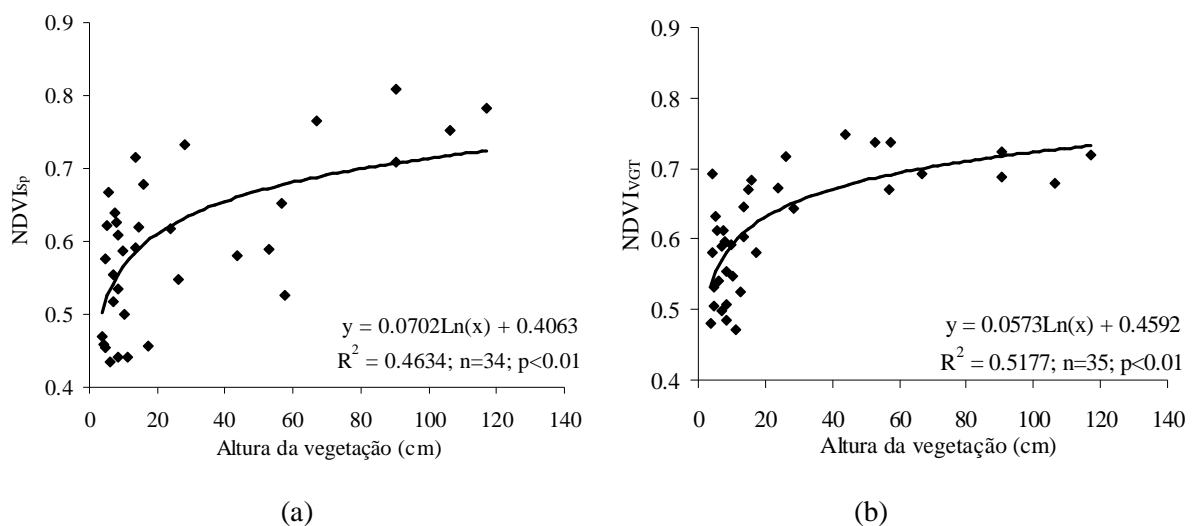


Figura 4.1 – Relação entre a altura da vegetação medida em campo e o NDVI derivado pelo espectrorradiômetro (a) ou pelo VGT (b), em ambos os locais de estudo (PRR e SLT).

Testando a relação entre o $NDVI_{Sp}$ e a altura da vegetação para cada local de estudo individualmente, obtêm-se modelos com um padrão similar, com coeficiente de determinação de 0.45 para PRR e 0.57 para SLT. O mesmo se verifica para a relação entre o $NDVI_{VGT}$ e a altura da vegetação, com coeficiente de determinação igual a 0.71 em PRR e 0.74 em Salto (Anexo 10).

Os resultados revelaram ainda um problema de saturação do $NDVI_{VGT}$ para altura da vegetação acima dos 60 cm (Figura 4.1b). A saturação do NDVI para condições de elevada

biomassa ou altura da vegetação é também referida em estudos de vários autores (e.g. Huete et al. 2002; Payero et al. 2004; Phillips et al. 2008; Zhang et al. 2009).

A regressão entre os valores de $NDVI_{VGT}$ e $NDVI_{Sp}$, no período entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008 e incluindo dados de ambos os locais de estudo, está representada na Figura 4.2. Os resultados revelaram um coeficiente de regressão próximo de 1 (0.98), mas o coeficiente de correlação é relativamente baixo (0.49) (Figura 4.2), reflectindo as diferenças entre ambos os sensores, particularmente as diferenças de escala temporal e espacial.

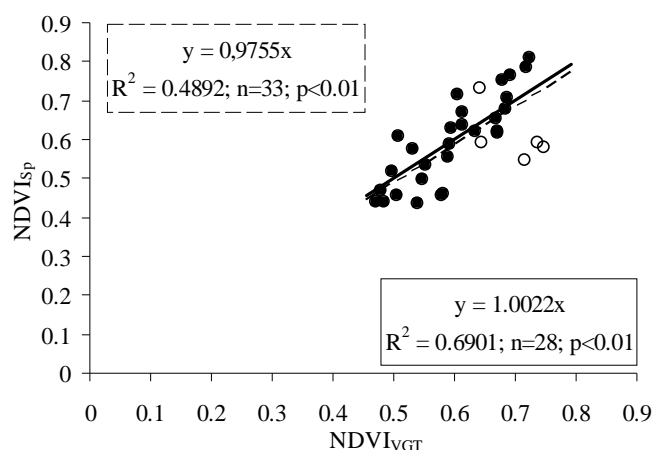


Figura 4.2 – Modelo de regressão entre o NDVI derivado do espectrorradiómetro ($NDVI_{Sp}$) e do sensor VEGETATION ($NDVI_{VGT}$), incluindo dados de ambos os locais de estudo e para o período entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008: a) linha a tracejado: considerando todos os pontos do período em estudo; b) linha contínua: excluindo os pontos correspondentes ao período de corte do feno em PRR (pontos brancos).

O coeficiente de determinação entre o $NDVI_{VGT}$ e $NDVI_{Sp}$ é estatisticamente significativo quer em SLT ($R^2=0.72; n=17; p<0.01$) quer em PRR ($R^2=0.41, n=15; p<0.05$) (Anexo 10).

Os menores valores de correlação em PRR poderão estar relacionados com a maior heterogeneidade da época de corte do feno nas parcelas na zona de PRR do que na zona de SLT, conforme observado durante o período em que decorreu o trabalho de campo. A maior concentração da época de corte do feno em SLT pode estar associada aos maiores índices de mecanização da operação, permitidos pelo declive mais favorável, e à menor fragmentação das parcelas (como analisado com melhor detalhe no Anexo 11). Estas diferenças no tempo de corte do feno entre os dois locais, embora sejam detectadas pelas medições do Sp nas diferentes parcelas, não são captadas pelo satélite devido à sua baixa resolução espacial (1 km). Deste modo, a diferença na concentração das épocas de corte entre locais origina

maiores diferenças entre os dados recolhidos pelos dois sensores e, conseqüentemente uma menor correlação entre $NDVI_{Sp}$ e $NDVI_{VGT}$, conforme se pode constatar pela comparação das respectivas regressões na Figura 4.2.

Tal como nos lameiros em estudo, Payero et al. (2004) registaram uma boa relação entre o NDVI derivado a partir de dados obtidos através de um radiómetro e a altura da vegetação em culturas de *Medicago sativa* L. e *Festuca arundinaceae* Schreb.. Também Cayrol et al. (2000) constataram o potencial de séries temporais de NDVI derivadas a partir de sensores de baixa resolução espacial (AVHRR e VEGETATION) para traduzir a variabilidade, registada em campo, da biomassa e do índice de área foliar (LAI) em pastagens. Estes parâmetros – biomassa e LAI – são relacionados com a altura da vegetação.

Apesar da relação estatisticamente significativa entre o $NDVI_{VGT}$ e o $NDVI_{Sp}$, observaram-se problemas de escala entre as medições obtidas em campo e pelo satélite (*field-to-satellite scaling*), situação que é igualmente referida por Fisher et al. (2006) e é apontada como uma questão que necessita de melhor resolução no futuro.

Os resultados das correlações entre os valores de $NDVI_{Sp}$ e $NDVI_{VGT}$ e entre a altura da vegetação e o $NDVI_{VGT}$ abrem perspectivas para o uso de dados deste sensor VGT para comparar a dinâmica dos lameiros em diferentes anos, após 1998, e, pela sua elevada cobertura ao longo do ano, para analisar o impacto das práticas de gestão utilizadas nos lameiros.

4.2 DINÂMICA INTRA-ANUAL DA VEGETAÇÃO DOS LAMEIROS AVALIADA ATRAVÉS DA DETECÇÃO REMOTA

A média de 11 anos (1998-2008) dos compósitos NDVI (S10) derivados a partir do sensor VGT foi usada para construir o perfil de NDVI em lameiros e estabelecer a sua relação com a dinâmica da vegetação e práticas culturais, nos dois locais de estudo (Figura 4.3).

O perfil do $NDVI_{VGT}$ segue um padrão semelhante em ambos os locais de estudo, ajustando-se à dinâmica de desenvolvimento da vegetação e práticas culturais características nos lameiros (Figura 4.3 e Quadro 3.2). Estes resultados sugerem que a aplicação do filtro mediano, usado para eliminar a variabilidade decorrente de dados anómalos, não comprometeu a integridade do sinal de NDVI ao longo da série temporal.

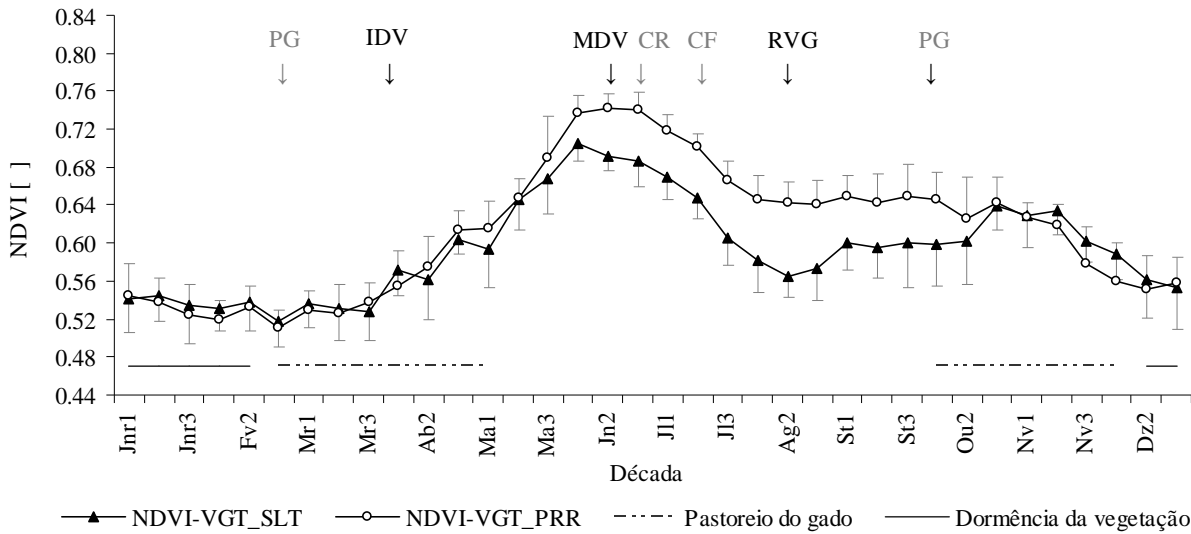


Figura 4.3 – Evolução temporal do NDVI médio (1998-2008), dinâmica da vegetação e práticas culturais nos dois locais de estudo (Paredes do Rio – PRR – e Salto – SLT). As barras verticais correspondem a metade do intervalo de confiança das médias do NDVI com probabilidade de 95%. São identificados: IDV – início do desenvolvimento vegetativo; MDV – máximo desenvolvimento vegetativo; RVG – recrescimento da vegetação após fenação; PG – início do pastoreio do gado; CR – corte da rega antecedendo a fenação; CF – corte do feno.

Os menores valores do perfil do NDVI ocorreram no final do Outono e no Inverno, traduzindo o período de dormência ou reduzido desenvolvimento vegetativo. A partir do início de Março o NDVI aumentou, reflectindo o re-início do desenvolvimento vegetativo após o Inverno. Desde o início da Primavera e até Maio os bovinos pastoreiam nos lameiros (Quadro 3.2) pelo que a vegetação (e consequentemente o NDVI) recresce várias vezes durante esse período. O efeito do pastoreio foi mais visível no perfil de Salto (Figura 4.3), o que resultará do carácter mais intensivo desta actividade neste local de estudo, uma vez que o número médio de bovinos por agricultor é o dobro do número registado na freguesia onde se situa a aldeia de Paredes do Rio (INE 2001). A partir de Maio o NDVI aumentou rapidamente, atingindo o seu máximo em Junho (Figura 4.3), altura em que o desenvolvimento da vegetação é também máximo (Quadro 3.2). O maior valor de NDVI em PRR, no período de máximo desenvolvimento da vegetação, pode ser explicado pela maior disponibilidade de água no solo neste local de estudo (em resultado da rega) e menor intensidade de pastoreio quando comparado com SLT. Acresce ainda a maior heterogeneidade temporal do corte de feno em PRR, conforme anteriormente mencionado, pelo que o decréscimo do NDVI no início do Verão é mais suave (Figura 4.3). No final de Agosto, o

NDVI aumentou novamente (Figura 4.3), reflectindo o recrescimento da vegetação após o corte para feno. O perfil do NDVI no final do Verão e início de Outono reflecte novamente o impacto do pastoreio sobre a vegetação (Figura 4.3).

A Figura 4.4 mostra que os perfis do $NDVI_{VGT}$ e do $NDVI_{Sp}$ para o ano 2008 são geralmente consistentes. Contudo, registam-se algumas diferenças resultantes da resolução espacial e temporal de ambos os sensores. O espectrorradiómetro permitiu a identificação de detalhes nas condições da vegetação a uma pequena escala (uma parcela ou um número limitado de parcelas) enquanto o VGT permitiu uma informação mais abrangente, acerca de um grupo de lameiros contíguos.

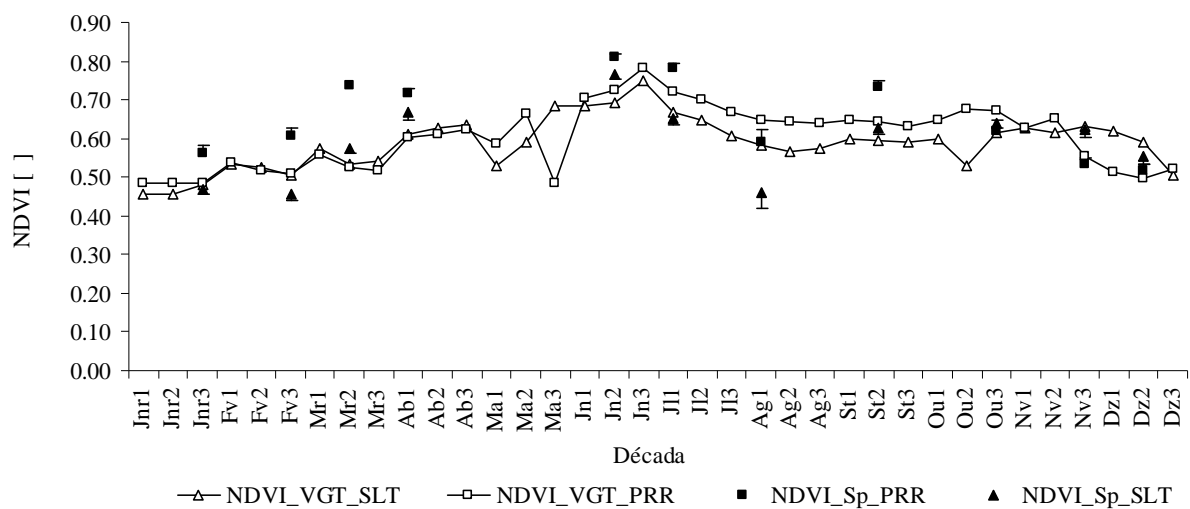


Figura 4.4 – Perfil do NDVI em 2008 para os dois locais de estudo (PRR e SLT) comparando os resultados obtidos a partir do VGT ($NDVI_{VGT}$) e do espectrorradiómetro ($NDVI_{Sp}$)

Os valores de $NDVI_{Sp}$ em PRR, derivados das campanhas de Março e Abril 2008, foram mais elevados do que os derivados a partir do VGT (Figura 4.4). Durante este período do ano os lameiros estão sujeitos a pastoreio (Figura 4.3), pelo que é frequente encontrar grande variabilidade nas condições da vegetação, num conjunto de parcelas contíguas de lameiros. Deste modo, as diferenças nos valores de NDVI obtidos a partir dos dois sensores possivelmente resultarão das diferenças de escala das medições obtidas em campo e pelo satélite. Também na campanha de campo do início de Agosto de 2008 o $NDVI_{Sp}$ foi menor do que o $NDVI_{VGT}$, particularmente em SLT, o que estará relacionado com a resolução espacial dos dois sensores. O corte do feno no lameiro de regadio de SLT, usado nas medições com o espectrorradiómetro, foi realizado apenas no início de Agosto, cerca de três semanas mais

tarde do que na generalidade dos lameiros contíguos, o que justificará as maiores diferenças entre $NDVI_{Sp}$ e $NDVI_{VGT}$ nesta data.

4.3 DINÂMICA INTER-ANUAL DA VEGETAÇÃO DOS LAMEIROS AVALIADA ATRAVÉS DE DETECÇÃO REMOTA

As variações inter-anuais na dinâmica da vegetação podem fornecer informação relevante acerca da resposta da vegetação à variabilidade climática (Martínez e Gilabert 2009; Verbesselt et al. 2009) ou a alterações nas práticas culturais. Deste modo, a disponibilidade de 11 anos de compósitos de NDVI-S10 torna possível o estudo da variabilidade inter-anual da vegetação dos lameiros em resultado de diferentes condições climáticas, nomeadamente temperaturas e escassez de água.

As métricas básicas e derivadas de $NDVI_{VGT}$ e correspondentes datas de ocorrência, definidas com base na dinâmica da vegetação e práticas culturais em lameiros (Quadro 3.5), foram avaliadas em função de variáveis climáticas no período de 1998-2008.

No Quadro 4.3 são apresentadas as médias e os coeficientes de variação do $NDVI_{VGT}$ e das variáveis climáticas, em diferentes períodos – período de desenvolvimento da vegetação, período seco, Inverno e Primavera –, nos 11 anos considerados (1998-2008).

O valor de NDVI para os períodos considerados foi ligeiramente mais elevado na área de estudo de PRR, excepto para o Inverno. A duração do período de desenvolvimento (da erva) e período seco foi menor para PRR do que para SLT. Os dados das variáveis meteorológicas (temperatura média, precipitação e ET de referência) são os mesmos nos dois locais de estudo porque se referem à mesma estação meteorológica. No entanto, considerando as durações dos períodos de desenvolvimento e seco, a temperatura média e a ET de referência em PRR foram iguais ou superiores aos valores de SLT; ao contrário, o total da precipitação foi maior em SLT por aí estes períodos serem mais longos.

Em ambos os locais de estudo, a data de ocorrência do máximo desenvolvimento vegetativo (MDV) mostrou-se correlacionada com a temperatura e a ET na Primavera (respectivamente, $r=-0.73$ e $r=-0.63$; $n=11$; $p<0.05$), de modo que temperaturas (e ET) mais elevadas na Primavera estão relacionadas com maior precocidade do MDV (Quadro 4.4).

Quadro 4.3 – Valores médios e coeficientes de variação (entre parêntesis) do NDVI e variáveis climáticas durante o período de desenvolvimento da vegetação e o período seco e as estações de Inverno e Primavera, para os anos 1998-2008, em ambos os locais de estudo (PRR e SLT)

Variáveis ⁽¹⁾	Inverno		Período de desenvolvimento ⁽²⁾		Primavera		Período seco ⁽³⁾	
	PRR	SLT	PRR	SLT	PRR	SLT	PRR	SLT
Duração (nº de dias)	90 ()	90 ()	72 (0.16)	79 (0.15)	91 ()	91 ()	95 (0.13)	112 (0.15)
Tmédia diária (°C)	5.8 (0.14)	5.8 (0.14)	11.5 (0.11)	11.2 (0.10)	11.6 (0.07)	11.6 (0.07)	16.3 (0.10)	16.1 (0.12)
R (mm)	436.4 (0.95)	436.4 (0.95)	245.6 (0.49)	273.8 (0.42)	317.6 (0.36)	317.6 (0.36)	121.6 (0.54)	160.3 (0.42)
ETo (mm.d ⁻¹)	1.4 (0.14)	1.4 (0.14)	3.4 (0.09)	3.3 (0.10)	3.4 (0.06)	3.4 (0.06)	4.3 (0.12)	4.3 (0.12)
NDVI _{VGT} []	0.53 (0.05)	0.54 (0.07)	0.64 (0.04)	0.62 (0.04)	0.64 (0.03)	0.62 (0.02)	0.69 (0.04)	0.62 (0.05)

Fonte dos dados meteorológicos: INMG

⁽¹⁾ NDVI_{VGT}: NDVI derivado a partir do sensor VGT; Duração: número de dias de cada uma das estações ou períodos considerados; Tmédia diária: Temperatura média diária; R: Precipitação no período; ETo: evapotranspiração de referência média diária.

⁽²⁾ Período de desenvolvimento: entre o início do desenvolvimento vegetativo e o máximo desenvolvimento vegetativo.

⁽³⁾ Período seco: entre o máximo desenvolvimento da vegetação e o primeiro recrescimento da vegetação após o corte para feno.

Quadro 4.4 – Matriz de correlação de Pearson para as métricas do NDVI (valor e tempo) e variáveis meteorológicas para os dois locais de estudo e para o período 1998-2008.

Variáveis climáticas ⁽¹⁾	Local estudo	IDV ⁽²⁾		MDV ⁽²⁾		RVG ⁽²⁾		Período Desenvolvimento ⁽²⁾			Período Seco ⁽²⁾					
		P	NDVI	DOY	P	NDVI	DOY	P	NDVI	Dias	P	NDVI	Dias			
Tmédia	PRR	0.51	0.20	0.54	-0.73	-0.30	-0.60	<i>Período desenvolvimento*</i>	0.74	0.29	0.09	-0.69				
	SLT	0.25	0.20	0.16	-0.73	-0.11	-0.50		0.83	0.32	0.05	-0.40				
R	PRR	<i>Inverno*</i>	-0.25	-0.42	<i>Primavera*</i>	0.30	0.09	<i>Período seco*</i>	0.15	0.42	<i>Período desenvolvimento*</i>	-0.03	0.57	<i>Período seco*</i>	0.06	0.51
	SLT		-0.34	-0.09		0.27	0.09		0.64	0.56		0.15	0.36		0.51	0.54
Etr	PRR	0.53	0.21	0.05	-0.63	-0.27	-0.58	<i>Período desenvolvimento*</i>	0.61	0.20	0.05	-0.62				
	SLT	-0.01	0.08	0.20	-0.63	-0.06	-0.58		0.48	0.21	0.10	-0.47				

Nível de significância do coeficiente de Pearson para 11 observações: $r > 0.602$ ($p < 0.05$); $r > 0.735$ ($p < 0.01$)

⁽¹⁾ Tmédia: Temperatura média diária; R: Somatório de precipitação; ETo: Evapotranspiração de referência média;

⁽²⁾ IDV: início do desenvolvimento vegetativo; MDV: máximo desenvolvimento vegetativo; RVG – primeiro recrescimento após o corte do feno; período de desenvolvimento: entre o início do desenvolvimento vegetativo e o máximo desenvolvimento vegetativo; período seco: entre o máximo desenvolvimento da vegetação e o primeiro recrescimento da vegetação após o corte para feno; P: período; NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*; DOY: dia do ano.

*Estes períodos são relativos às variáveis climáticas

Em PRR, verificou-se igualmente uma correlação entre a duração do período seco e a temperatura média e a ET (respectivamente, $r = -0.69$ e $r = -0.62$; $n = 11$; $p < 0.05$): maiores

temperaturas (e ET) estão associadas a menor duração do período seco (Quadro 4.4). Contudo, estes resultados não têm correspondência com os resultados de SLT, o que poderá estar relacionado com a data de ocorrência do RVG neste local de estudo. Nos 11 anos estudados, a data do RVG em SLT ocorreu geralmente um decénio mais tarde do que em PRR, com consequência sobre os valores de temperatura (Quadro 4.3).

A variação inter-anual (1998-2008) do NDVI no período de desenvolvimento mostrou-se correlacionada com a temperatura média nesse período, conforme se constata pela Figura 4.5 e pelo Quadro 4.4. Nos dois locais de estudo, mais de 57% da variabilidade inter-anual do NDVI_{VGT} médio no período de desenvolvimento foi explicada pela variabilidade da temperatura média nesse período (Figura 4.5).

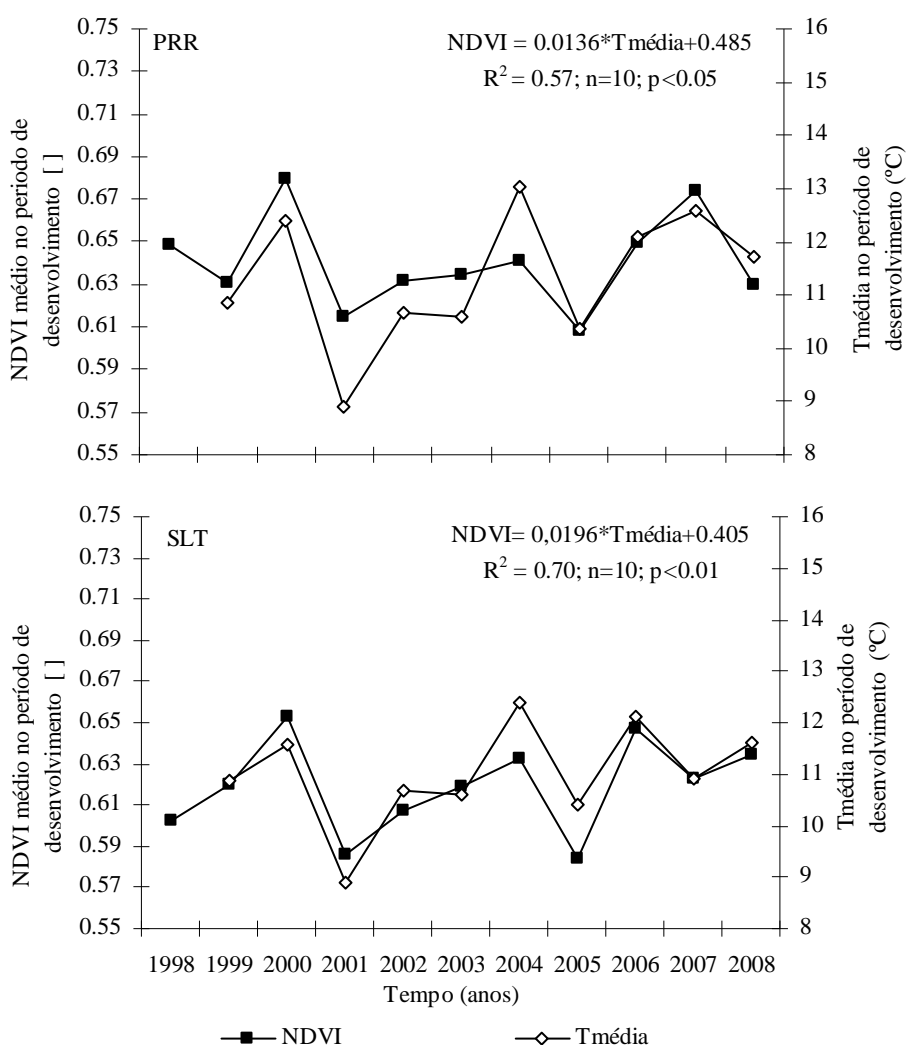


Figura 4.5 – Relação entre a temperatura e o NDVI_{VGT} médio do período de desenvolvimento para 1998-2008, nos dois locais de estudo (Paredes do Rio – PRR e Salto – SLT).

Os valores máximos de temperatura no período de desenvolvimento foram atingidos em 2000, 2004 e 2007 (2006 em SLT), ocorrendo nesses mesmos anos os valores mais elevados de NDVI. Por oposição, os valores mais baixos de NDVI registaram-se em 2001 e 2005, nos quais se observaram também as menores temperaturas (Figura 4.5). Durante o período de desenvolvimento as temperaturas são geralmente baixas em Montalegre (Quadro 4.3), pelo que esta variável será um factor limitante/condicionante ao desenvolvimento da vegetação. Piao et al. (2006) obtiveram resultados semelhantes para a correlação entre o NDVI de pastagens temperadas⁴ e a temperatura durante o período de desenvolvimento.

Num cenário de aumento de temperatura em consequência das alterações climáticas (e.g. Lavalle et al. 2009; Yu et al. 2003), estes resultados poderão indicar uma tendência para a antecipação da data de máximo desenvolvimento vegetativo, com impacto na calendarização de práticas culturais, nomeadamente uma antecipação da data de corte da rega nos lameiros para permitir uma antecipação do corte do feno.

Em SLT observou-se também uma correlação positiva ($r=0.64$; $n=11$; $p<0.05$) entre os valores de NDVI na data do primeiro recrescimento após o corte do feno (RVG) e a precipitação durante o período seco, o que contudo não ocorreu em PRR (Quadro 4.4). O menor valor do coeficiente de correlação entre o NDVI e a precipitação em PRR ($r=0.15$; correlação não significativa) poderá resultar da maior disponibilidade de água no solo neste local durante o período seco, diminuindo o impacto da precipitação.

Não se verificaram outras correlações da precipitação com os valores médios de NDVI ou com a duração do período de desenvolvimento e do período seco (Quadro 4.4). Também no seu estudo com pastagens temperadas, Piao et al. (2006) observaram uma fraca correlação entre o NDVI e a precipitação para valores de precipitação acima dos 200 mm. Este limiar de precipitação (200 mm) tem correspondência com os valores médios de precipitação em Montalegre no período de desenvolvimento (Quadro 4.3). Acresce ainda o facto de a rega ser tradicionalmente praticada nos lameiros ao longo de todo o ano. Deste modo, atendendo à falta de dados históricos de rega em lameiros, torna-se difícil estabelecer correlações entre o desenvolvimento da vegetação em lameiros (logo, o NDVI) e as variáveis climáticas relacionadas com a água.

⁴ (cf. Sala, O.E., Austin, A.T., & Vivanco, L. (2001). Temperate grasslands and shrublands ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*, 5, 627-635)

4.4 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM LAMEIROS ATRAVÉS DE DETECÇÃO REMOTA. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO METRIC

A adequabilidade do sensor Landsat para a monitorização dos lameiros durante grande parte do ano (Quadros 4.1 e 4.2) torna possível a utilização de imagens deste sensor (com banda térmica) para a aplicação do modelo METRIC. Deste modo, para diferentes períodos do ano, é possível uma aproximação à evapotranspiração diária e aos coeficientes culturais em lameiros através da quantificação dos componentes do balanço de energia.

O METRIC foi aplicado a quatro imagens de 2002: 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 de Setembro. No Quadro 4.5 apresentam-se as estatísticas de alguns produtos intermédios e finais do METRIC para os lameiros e demais tipos de coberto do solo (LCT) característicos da paisagem de Montalegre (Quadro 3.7) e para cada imagem estudada.

A Figura 4.6 mostra a evolução da fracção da evapotranspiração de referência (ETrF), obtida para as imagens de 29 de Maio, 22 de Junho e 2 de Setembro de 2002, em ambos os locais de estudo (PRR e SLT).

No Quadro 4.5 observa-se que os valores mais elevados de ET_{24h} e $ETrF_{24h}$ para a imagem de 29 de Maio ocorreram para LMR (3.78 mm d⁻¹ e 0.71, respectivamente) e LMS (3.64 mm d⁻¹ e 0.68, respectivamente). Nesta data a vegetação dos lameiros encontra-se na fase de desenvolvimento vegetativo rápido, constituindo um coberto contínuo e uniforme, e a ocorrência de precipitação (98 mm no mês anterior à captação da imagem) e de rega (no caso dos LMR) garantem um bom abastecimento da pastagem em água, o que justificará os elevados valores de ET_{24h} e $ETrF$ comparativamente aos outros LCT. A elevada ocorrência de precipitação que antecedeu o dia 29 de Maio de 2002 terá minimizado os impactos do regime hídrico nos lameiros em estudo.

Estes resultados são igualmente evidenciados pela distribuição do $ETrF_{24h}$ na Figura 4.6a, em ambos os locais de estudo, com os $ETrF_{24h}$ mais elevados dispostos de modo geral sobre áreas de lameiros.

Por oposição, os valores mais baixos para a ET_{24h} e $ETrF_{24h}$, em 29 de Maio, observaram-se para as parcelas de matas (Quadro 4.5), em resultado do coberto menos denso nestes LCTs, inerente à arquitectura da vegetação.

Quadro 4.5 – Estatísticas descritivas dos produtos intermédios e finais do METRIC para cada uma das quatro imagens de satélite (Landsat) consideradas e para cada tipo de coberto do solo (LCT).

Produtos do METRIC ⁽¹⁾	Data Landsat	Tipo de coberto do solo (LCT) ⁽²⁾											
		LMR		LMS		CS		BLD		MF		MR	
		Média	SD	Média	SD	Média	SD	Média	SD	Média	SD	Média	SD
NDVI []	29-Mai	0.80	0.03	0.72	0.07	0.66	0.06	0.58	0.07	0.71	0.03	0.66	0.03
	22-Jun	0.81	0.04	0.70	0.07	0.68	0.03	0.69	0.02	0.81	0.01	0.66	0.04
	30-Jun	0.80	0.03	0.72	0.01	0.70	0.02	0.73	0.01	0.82	0.01	0.72	0.05
	02-Set	0.56	0.06	0.46	0.08	0.45	0.08	0.59	0.03	0.71	0.02	0.55	0.11
T _{SD} DEM (Kelvin)	29-Mai	295.4	0.29	297.3	0.86	297.1	1.66	297.9	2.46	293.7	1.07	292.9	1.23
	22-Jun	302.0	0.75	305.2	1.09	304.7	1.78	303.5	1.11	299.6	1.23	300.5	1.57
	30-Jun	293.8	0.89	295.9	0.42	296.4	0.58	294.1	0.62	290.2	0.51	291.4	1.93
	02-Set	302.4	2.09	303.8	2.27	304.0	1.02	300.6	1.21	295.7	0.90	297.3	0.75
Rn (W m ⁻²)	29-Mai	716.9	39.97	723.7	17.12	701.8	27.56	690.3	43.75	687.0	59.54	714.7	44.20
	22-Jun	695.4	38.52	702.3	22.49	669.8	32.40	646.7	39.00	641.1	46.64	678.0	39.44
	30-Jun	747.0	36.57	710.2	1.87	710.7	16.25	705.9	33.92	715.6	82.34	697.2	31.81
	02-Set	595.3	55.32	605.2	26.73	586.4	43.26	559.2	57.38	544.6	46.11	560.8	67.70
G (W m ⁻²)	29-Mai	67.14	4.88	83.70	14.43	91.93	12.04	112.01	6.59	88.83	18.94	120.03	11.42
	22-Jun	62.60	8.25	86.75	15.24	84.67	5.58	85.11	8.36	64.41	7.62	114.64	10.20
	30-Jun	68.46	10.58	79.19	0.45	82.11	5.62	84.36	6.69	67.03	11.51	105.96	12.76
	02-Set	97.68	12.58	105.49	6.48	105.33	3.51	93.69	9.88	78.58	7.10	94.00	7.26
H (W m ⁻²)	29-Mai	397.4	4.41	404.3	10.42	395.5	13.27	406.8	13.02	480.5	18.76	462.5	10.95
	22-Jun	311.9	6.65	342.9	9.70	333.5	24.85	326.2	15.52	357.3	21.27	365.8	21.40
	30-Jun	422.7	3.37	416.5	2.70	418.8	5.32	433.8	13.84	521.6	12.21	521.1	19.76
	02-Set	296.4	40.59	323.4	49.78	326.4	22.37	266.5	27.57	225.9	19.91	257.4	21.04
ETrF _{24h} []	29-Mai	0.71	0.07	0.68	0.02	0.63	0.06	0.54	0.08	0.33	0.08	0.37	0.1
	22-Jun	0.69	0.06	0.60	0.04	0.55	0.06	0.54	0.05	0.51	0.06	0.48	0.06
	30-Jun	0.68	0.04	0.58	0.00	0.57	0.02	0.53	0.02	0.31	0.12	0.22	0.08
	02-Set	0.52	0.09	0.47	0.18	0.42	0.14	0.56	0.1	0.73	0.08	0.58	0.17
ET _{24h} (mm d ⁻¹)	29-Mai	3.78	0.39	3.64	0.09	3.37	0.32	2.89	0.42	1.79	0.40	2.00	0.51
	22-Jun	4.48	0.37	3.89	0.27	3.60	0.36	3.53	0.35	3.35	0.41	3.13	0.38
	30-Jun	3.05	0.19	2.63	0.00	2.57	0.08	2.39	0.10	1.39	0.52	1.00	0.36
	02-Set	2.07	0.37	1.87	0.74	1.66	0.55	2.22	0.39	2.91	0.34	2.32	0.68

Nas estatísticas descritivas (média e desvio padrão, SD) foram considerados os dados médios para os locais de estudo em PRR e SLT, obtidos a partir das parcelas de treino definidas no Quadro 3.7. No caso da imagem Landsat de 30 de Junho de 2002, não foram considerados os dados de Salto devido à presença de algumas nuvens.

⁽¹⁾ NDVI – índice de vegetação da diferença normalizada; ET_(24h) – evapotranspiração diária obtida pelo produto entre ETr e ETrF_{24h}; ETrF_{24h} – fracção da evapotranspiração ajustada para o dia; Rn – radiação líquida; T_{SD}DEM – temperatura da superfície de acordo com a modelação do terreno; G – fluxo de calor do solo; H – fluxo de calor sensível.

⁽²⁾ LMR – lameiros de regadio; LMS – lameiros de sequeiro; BLD – baldios; CS – culturas de sequeiro; MF – matas de folhosas; MR – matas de resinosas.

2

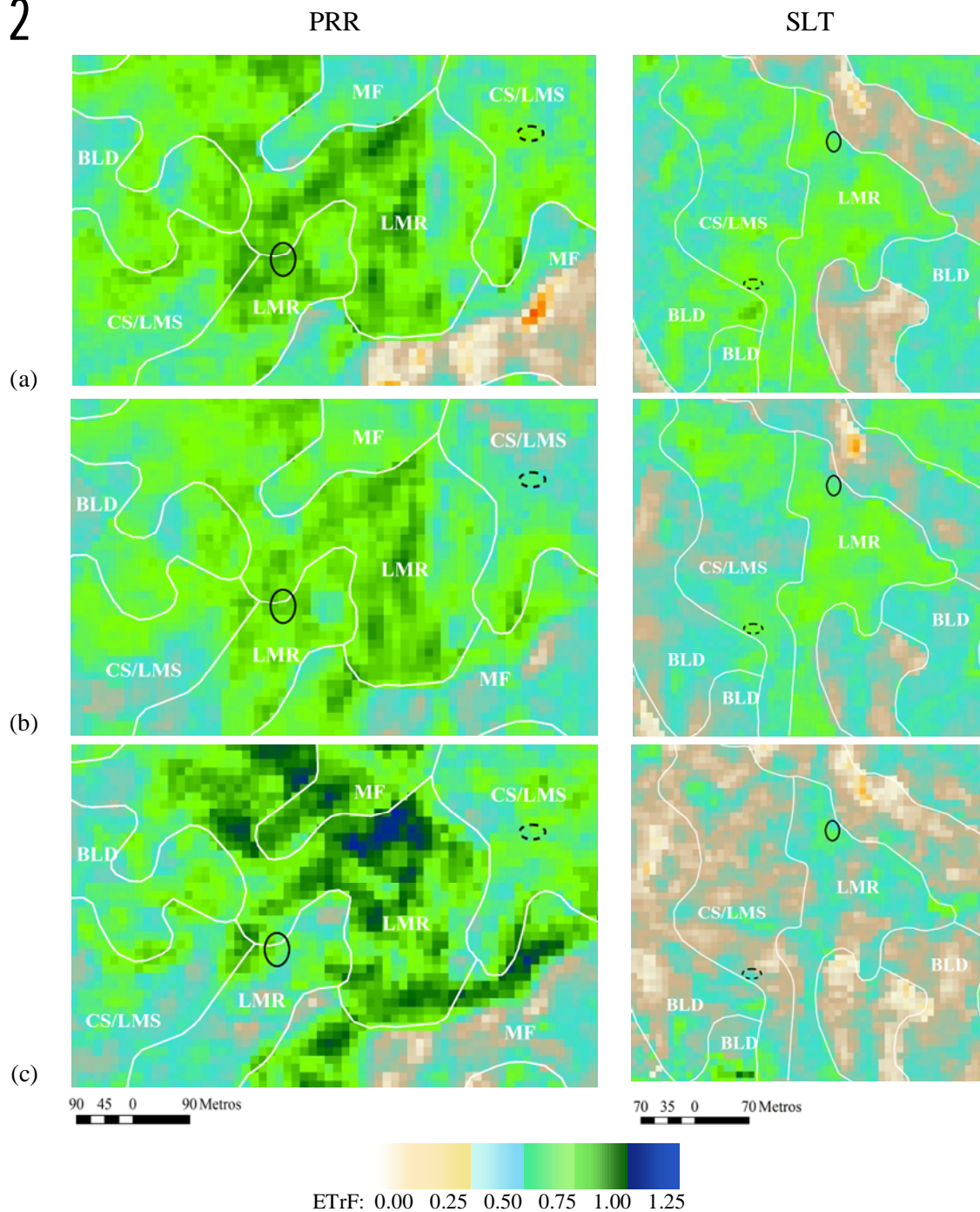


Figura 4.6 – Mapas da fração da evapotranspiração de referência ($ETrF_{24h}$), com a identificação de uma parcela de estudo de lameiros de regadio (○) e de lameiros de sequeiro (⊖) em Paredes do Rio (PRR) e Salto (SLT), para: (a) 29 de Maio; (b) 22 de Junho; (c) 2 de Setembro. As linhas brancas delimitam as áreas representadas no mapa de uso do solo e com correspondência a: LMR – lameiros de regadio; BLD – baldios; CS/LMS – culturas de sequeiro e lameiros de sequeiro; MF – matas de folhosas.

Considerando o conjunto de imagens estudadas, os valores mais elevados de ET_{24h} observaram-se para 22 de Junho em todos os LCT, com valores entre os 4.48 mm d⁻¹ em LMR e 3.13 mm d⁻¹ em MR (Quadro 4.5). Nesta data, a vegetação dos lameiros está no seu máximo desenvolvimento e ainda não ocorreu o corte de rega nos lameiros de regadio, que geralmente é feito no último decénio de Junho para permitir que a vegetação seque antes do corte do feno (Quadro 3.2). Deste modo, o efeito da rega em lameiros com diferentes regimes hídricos é evidenciado nesta data através de uma maior diferença dos valores de $E_{TrF_{24h}}$ e ET_{24h} entre LMR e LMS: respectivamente 0.69 e 4.48 mm d⁻¹ em LMR e 0.60 e 3.89 mm d⁻¹ em LMS (Quadro 4.5).

Em 30 de Junho registou-se uma diminuição da ET_{24h} quer em LMR quer em LMS (Quadro 4.5), por comparação com os valores em 22 de Junho, resultados que estão em conformidade com o corte da rega pouco depois de 22 de Junho e a ausência de precipitação desde 11 de Junho. Também nesta data se verificou uma clara diminuição da ET_{24h} nas parcelas de matas (1.39 mm d⁻¹ em MF e 1.00 mm d⁻¹ em MR), coincidente com um pico do fluxo de calor sensível (Quadro 4.5). Também Wilson e Baldocchi (2000) obtiveram resultados similares para uma mata mista de folhosas, dominada por carvalhos, áceres e nogueiras, em Oak Ridge no estado do Tennessee (Estados Unidos). Estes autores verificaram uma diminuição na condutância da superfície após o período de expansão das folhas, coincidente com um baixo teor de água no solo, tendo concluído que a transferência de energia entre fluxos de calor sensível e de calor latente está relacionada com a condutância/resistência da superfície. A ausência de precipitação após 11 de Junho sugere baixo teor de água no solo, favorecendo desse modo as condições para uma baixa condutância da superfície e ET.

Os resultados de $E_{TrF_{24h}}$ em LMR para as imagens de Maio e Junho (0.68 – 0.71) situaram-se entre os valores de $Kc_{(baseado\ em\ luzerna)}$ para o período intermédio em pastagens e em gramíneas para corte do feno: 0.62 – 0.87, valores derivados a partir dos coeficientes culturais (baseados num relvado) definidos por Allen et al. (1998) através da aplicação das equações 3.17 e 3.18.

As culturas de sequeiro (essencialmente centeio) apresentaram um padrão de ET_{24h} semelhante ao dos lameiros de sequeiro nas imagens de Maio e Junho (Quadro 4.5). Estas imagens correspondem aos períodos de cobertura total da vegetação e maturação, isto é, parte do período intermédio e final da cultura do centeio (Quadro 3.2). Na imagem de Maio, a E_{TrF} média foi de 0.63, valor um pouco menor do que obtido por Bodner et al. (2007) para um campo de centeio com 90% da cobertura total da vegetação ($Kc_{baseado\ em\ luzerna} = 0.71$),

estimado para condições semi-áridas. Esta diferença de valores poderá estar associada ao modo de produção pouco intensivo característico na região de estudo.

Para o período de Maio e Junho, os valores de $ETrF_{24h}$ para os baldios (entre 0.53 e 0.54) foram menores do que os obtidos para as parcelas de estudo de LMR (entre 0.68 e 0.71) e LMS (entre 0.58 e 0.68), reflectindo as diferenças relativas às características da vegetação, pastoreio e regadio nestes três tipos de LCT (Quadro 4.5).

Na imagem de 2 de Setembro a maior $ETrF_{24h}$ e ET_{24h} registou-se sobre matas de folhosas e resinosas (0.73 e 2.91 mm d⁻¹ em MF e 0.58 e 2.32 mm d⁻¹ em MR) e baldios (0.56 e 2.22 mm d⁻¹) (Quadro 4.5). Os menores valores de $ETrF_{24h}$ e ET_{24h} em lameiros, nesta data (0.52 e 2.07 mm d⁻¹ em LMR e 0.47 e 1.87 mm d⁻¹ em LMS), 5 a 7 semanas após o corte do feno, reflectem o pouco desenvolvimento da vegetação, com um coberto por vezes descontínuo. Estas condições da vegetação em lameiros podem ser confirmadas pelos baixos valores de NDVI e elevado fluxo de calor do solo (Quadro 4.5). Nesta altura do ano, os níveis de precipitação são baixos e é frequente o uso da água disponível noutras culturas (e.g. culturas hortícolas) e não nos lameiros, pelo que LMR e LMS apresentam geralmente condições culturais similares. Na Figura 4.6c_PRR (de 2 de Setembro), os valores mais elevados de $ETrF_{24h}$ observados em parte da classe LMR ($ETrF_{24h} > 1$) corresponderam a áreas em que se verificou a presença de algumas nuvens (e suas sombras). Esta ocorrência pontual de nuvens não afectou as parcelas de estudo de LMR e LMS.

Apesar de o pastoreio ocorrer exclusivamente nos baldios durante todo o Verão (Quadro 3.2), os valores de $ETrF_{24h}$ e ET_{24h} na imagem de Setembro são mais elevados nas parcelas deste LCT (0.56 e 2.22 mm d⁻¹) do que em lameiros (0.47 – 0.52 e 1.87 – 2.07 mm d⁻¹, respectivamente em LMS e LMR) (Quadro 4.5), provavelmente devido à presença de vegetação arbustiva verde naqueles, nesta altura do ano. O decréscimo do NDVI registado em baldios na imagem de 2 de Setembro comparativamente à imagem anterior – 0.59 e 0.73, respectivamente (Quadro 4.5) – evidencia o progressivo desaparecimento de gramíneas e leguminosas na vegetação dos baldios em resultado do pastoreio. Em Salto, a $ETrF_{24h}$ para baldios na imagem de Setembro foram claramente mais baixa do que em Paredes do Rio (Figura 4.6c), reflectindo a maior intensidade de pastoreio naquele local de estudo, com consequente diminuição mais acentuada da vegetação herbácea nos baldios daquele local no final do Verão. O valor médio de $ETrF_{24h}$ observado em baldios na imagem de final do Verão

(0.56) foi inferior ao $K_{c_{\text{baseado em luzerna}}}$ para pastagens pastoreadas (0.65^5), provavelmente devido às características da vegetação e ausência de rega e precipitação.

Os $ET_{R_{24h}}$ obtidos para florestas (Quadro 4.5) foram de modo geral menores do que os $K_{c_{\text{baseado em luzerna}}}$ ⁵ derivados a partir de Allen et al. (1998) para coníferas e por Nagler et al. (2005) para espécies ripícolas em regiões áridas.

Os valores de ET_{24h} para matas de folhosas, estimados pelas imagens de 22 de Junho e 2 de Setembro (respectivamente, 3.35 mm d^{-1} e 2.91 mm d^{-1}), enquadraram-se de modo geral no intervalo de valores apresentado por Wilson e Baldocchi (2000) para uma mata de folhosas temperada. Mas comparando os resultados obtidos neste estudo com os de Sánchez et al. (2008), para matas de folhosas e resinosas na região Basilicata (Itália), usando o modelo STSEB (*Simplified Two-Source Energy Balance*), registaram-se menores valores de ET.

Num estudo realizado com dois modelos de estimativa do balanço de energia, nomeadamente um modelo *two-source* (TSEB) e um modelo *one-source* (SEBAL) – que consideram, respectivamente, os componentes solo e vegetação separadamente ou como um compósito agregado, para a parametrização das trocas de calor com o ar sobrejacente –, Timmermans et al. (2007) verificaram que em áreas de coberto ripícola havia grande discrepância entre os resultados dos dois modelos, apresentando os dados obtidos pelo TSEB maior concordância com as observações. Os resultados daqueles autores sugerem uma subestimação de H em modelos *one-source*, como é o caso do METRIC. Acresce o facto de os povoamentos de folhosas na região de Montalegre apresentarem grande diversidade quanto às características da estação, nomeadamente em relação à densidade dos povoamentos, composição e localização, tornando difícil a parametrização da altura de rugosidade (z_{om})⁶, necessária ao cálculo do H (Figura 3.5), que melhor se ajuste aos fluxos observados nas diferentes condições culturais.

No sentido de ultrapassar esta eventual limitação do METRIC, a actual versão do modelo – versão 2.0.6, de Janeiro de 2010 (Allen et al. 2010) –, inclui a estimativa da altura de rugosidade para vegetação alta e esparsa, nomeadamente para área florestais, através da função de Perrier (Perrier 1982), que considera a distribuição da vegetação pelo copado das árvores e a altura estimada das árvores:

⁵ O valor de $K_{c_{\text{baseado em luzerna}}}$ foi derivado a partir dos coeficientes culturais definidos por Allen et al. (1998) aplicando as equações 3.17 e 3.18

⁶ Altura de rugosidade relativa às transferências da quantidade de movimento.

$$z_{om} = \left(\left(1 - \exp\left(\frac{-a * LAI}{2}\right) \right) \exp\left(\frac{-a * LAI}{2}\right) \right) * h_p \quad (4.1)$$

em que LAI é o índice de área foliar (adimensional), h_p é a altura da vegetação alta (m) e “a” é um factor de ajustamento para a distribuição do LAI no interior do copado.

Esta nova versão do modelo inclui ainda um ajustamento da temperatura de superfície para zonas de vegetação alta, de modo a integrar a informação relativa às zonas ensombradas e iluminadas dos copados e do próprio solo, e assim melhorar as estimativas das transferências de calor sensível (Allen et al. 2010).

Os resultados obtidos permitem uma primeira aproximação aos coeficientes culturais em lameiros no período entre final de Maio e início de Setembro (Figura 4.7) e uma estimativa do consumo de água em lameiros (Figura 4.8).

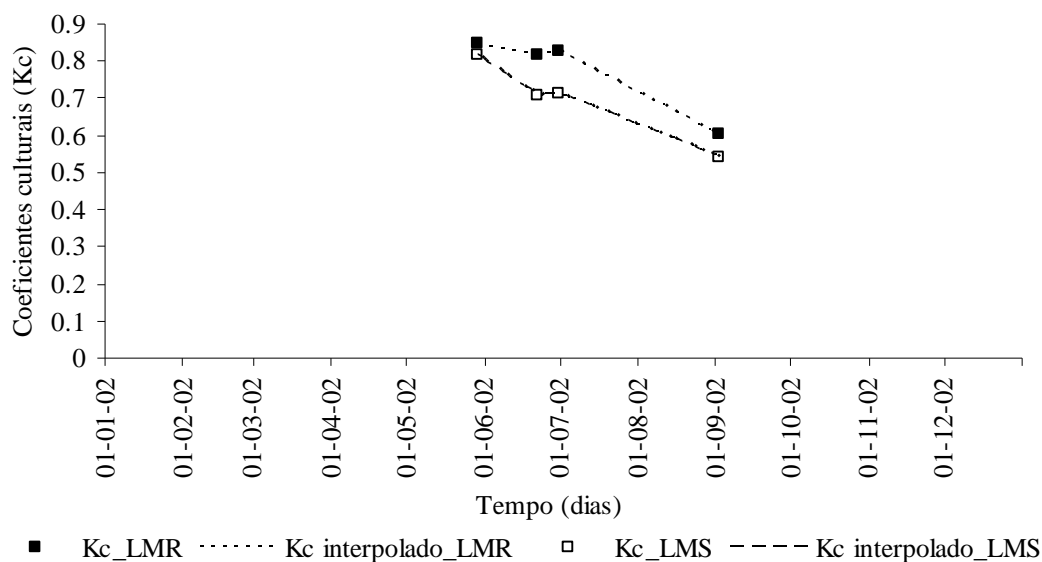


Figura 4.7 – Coeficientes culturais derivados a partir dos $ETrF_{24h}$ estimados para as imagens Landsat de 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 Setembro através do modelo METRIC.

Seria desejável a existência de um valor de $ETrF$ no final de Julho ou início de Agosto de modo a permitir um melhor ajuste da curva dos coeficientes culturais, o que contudo não foi possível devido à reduzida qualidade das imagens Landsat no catálogo da USGS nesse período, em resultado da elevada percentagem de ocorrência de nuvens. Pelo mesmo motivo não foi possível a aplicação do METRIC a imagens do início da Primavera do mesmo ano (2002).

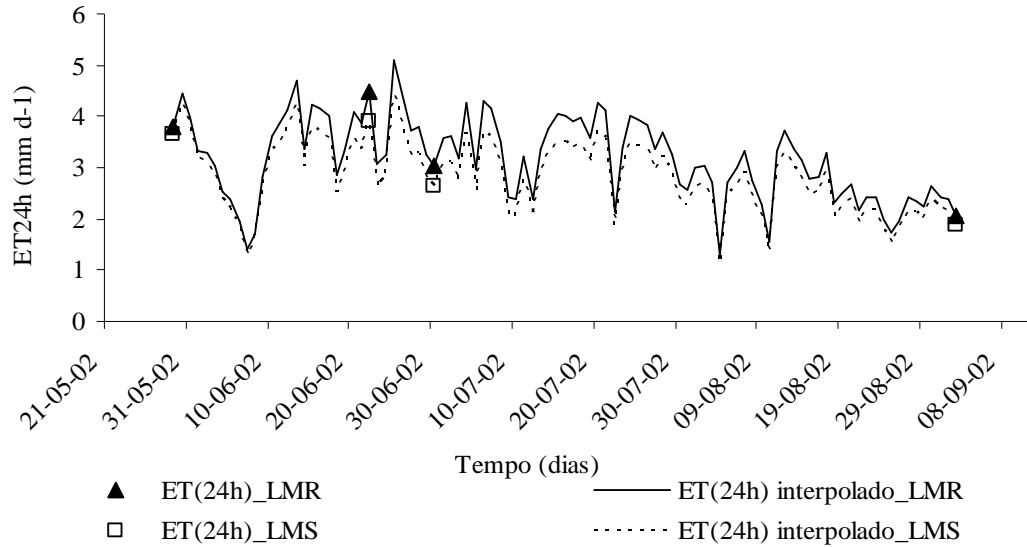


Figura 4.8 – Estimativa da evapotranspiração diária (mm d^{-1}) em lameiros de regadio e sequeiro no período entre 29 de Maio de 2002 e 2 de Setembro de 2002, obtida a partir dos valores de evapotranspiração ($\text{ET}_{24\text{h}}$) estimados para as imagens Landsat de 29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 Setembro através do modelo METRIC.

A informação derivada através da aplicação do modelo METRIC sobre a área de estudo poderá ser relevante na definição de estratégias de gestão da paisagem para as próximas décadas.

4.5 CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS DA PAISAGEM ATRAVÉS DO MODELO METRIC

Na caracterização biofísica dos LCT característicos da paisagem de Montalegre foram utilizados dados derivados da aplicação do modelo METRIC (de seguida referidos como variáveis) e quatro imagens Landsat de 2002 (29 de Maio, 22 de Junho, 30 de Junho e 2 de Setembro). A implementação da caracterização biofísica pressupõe uma selecção prévia da melhor combinação de variáveis e imagens para discriminar entre os LCT. As variáveis consideradas foram o NDVI, a temperatura de superfície em função da modelação do terreno (T_{SDem}), a evapotranspiração (ET), a radiação líquida (R_n), o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor do solo (G). Os LCT considerados foram os lameiros de regadio (LMR), lameiros de sequeiro (LMS), culturas de sequeiro (CS), baldios (BLD), matas de folhosas (MF) e matas de resinosas (MR) (Quadro 3.7). Considerando as similaridades na fenologia de culturas de sequeiro (principalmente centeio) e de lameiros de sequeiro no período estudado –

Maio a Setembro – (Quadro 3.2), bem como no comportamento dos elementos do balanço de energia (Quadro 4.5), estas duas classes foram consideradas em conjunto no processo de discriminação e caracterização.

No Quadro 4.6 são apresentados os resultados do rigor global e do coeficiente Kappa obtidos no processo de discriminação entre LCT para as melhores combinações de variáveis (abordagem biofísica), assumindo como referência os resultados obtidos apenas usando o NDVI (abordagem radiométrica). Conforme referido, o rigor global é calculado em função dos valores da diagonal principal da matriz de confusão (casos correctamente classificados), enquanto o coeficiente Kappa pondera os valores da diagonal principal e os valores marginais da matriz de confusão.

Considerando a análise conjunta do rigor global e do coeficiente Kappa para a discriminação dos diversos LCT constata-se que os melhores resultados foram obtidos para a combinação de três imagens de Maio e Junho (Quadro 4.6). Embora a combinação das imagens de 29 de Maio e 22 de Junho tenha produzido valores de rigor global ligeiramente superiores aos obtidos com a combinação das três imagens, o coeficiente Kappa apresentou melhores resultados nesta última combinação. Atendendo a que o coeficiente Kappa considera não só os valores correctamente atribuídos na matriz de confusão mas também os valores marginais, os resultados deste índice apresentam maior robustez, pelo que se considerou melhor a combinação com as três imagens.

O rigor do processo de discriminação entre LCTs diminuiu quando se consideraram as quatro imagens (Quadro 4.6). Ao contrário de outros estudos que obtiveram um melhor contraste do comportamento espectral entre diferentes LCT usando imagens multi-temporais ao longo do ciclo anual (e.g. Guo et al. 2003; Lucas et al. 2007), no presente trabalho os melhores resultados foram obtidos quando se combinaram imagens em que as diferenças nos estados fenológicos de cada LCT eram reduzidas. A abordagem biofísica usada neste trabalho parece pois contornar a necessidade de uso de uma ampla cobertura multi-temporal de imagens (com informação fenológica mais abrangente) observada em estudos que apenas usaram informação derivada de dados espectrais. Seria contudo interessante incluir imagens de outros períodos do ano, nomeadamente de Outono/Inverno e de início de Primavera, no sentido de avaliar a potencial melhoria no rigor da discriminação. Contudo, a presença de nuvens sobre Montalegre durante esse período e as fracas condições de luminosidade normalmente associadas às imagens de Inverno, condicionaram a disponibilidade de imagens para processamento no ano de 2002, considerado para estudo com o METRIC.

Quadro 4.6 – Rigor global e coeficiente Kappa obtidos no processo de discriminação entre LCT para as melhores combinações de variáveis testadas para cada imagem individualmente e para grupos de imagens: todas as imagens *, imagens de Maio e Junho** e imagens de Maio e Setembro, imagens de Junho e Setembro e imagens de Maio e Junho.

Combinações de variáveis ⁽¹⁾	Combinações de imagens	Treino		Validação		Treino & validação	
		Rigor global (%)	Coef. Kappa	Rigor global (%)	Coef. Kappa	Rigor global (%)	Coef. Kappa
NDVI	4 datas*	80.67	0.79	62.67	0.53	64.94	0.57
NDVI-T _{sDEM} -H		76.67	0.72	80.00	0.75	81.29	0.74
NDVI-G-H		82.22	0.76	90.00	0.88	81.33	0.72
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		85.56	0.77	53.33	0.42	79.33	0.73
NDVI	3 datas**	73.00	0.67	68.67	0.57	66.04	0.56
NDVI-T _{sDEM} -H		92.22	0.89	73.33	0.67	88.89	0.87
NDVI-G-H		74.17	0.65	83.33	0.78	86.21	0.81
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		88.33	0.84	83.33	0.78	93.36	0.92
NDVI	29Mai & 2Set	80.67	0.73	72.00	0.65	70.76	0.63
NDVI-T _{sDEM} -H		67.27	0.50	76.00	0.69	78.48	0.73
NDVI-G-H		87.88	0.81	85.33	0.83	78.03	0.73
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		72.42	0.57	70.00	0.60	83.78	0.79
NDVI	22Jun&2Set	68.89	0.57	64.00	0.55	73.60	0.66
NDVI-T _{sDEM} -H		87.58	0.77	66.00	0.56	73.79	0.66
NDVI-G-H		84.55	0.77	72.00	0.66	83.67	0.79
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		80.91	0.70	83.33	0.78	77.21	0.71
NDVI	29Mai & 22Jun	73.33	0.66	73.33	0.67	61.58	0.52
NDVI-T _{sDEM} -H		73.94	0.61	86.00	0.83	78.76	0.73
NDVI-G-H		<u>84.24</u>	0.73	<u>96.67</u>	0.96	<u>86.00</u>	0.82
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		70.22	0.64	70.00	0.63	80.91	0.76
NDVI	29-Mai	54.67	0.41	65.33	0.57	51.33	0.39
NDVI-ET		82.42	0.72	73.33	0.67	84.41	0.74
ET-G-T _{sDEM}		80.91	0.71	89.33	0.87	82.83	0.76
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		80.91	0.71	89.33	0.87	85.59	0.77
NDVI	22-Jun	57.58	0.45	68.67	0.61	50.00	0.38
NDVI-T _{sDEM} -H		78.18	0.74	64.67	0.57	73.67	0.68
ET-G-T _{sDEM}		80.91	0.71	76.67	0.71	82.25	0.75
NDVI-ET-G-T _{sDEM}		75.45	0.64	76.67	0.71	76.92	0.68
NDVI	30-Jun	52.50	0.41	44.00	0.31	42.78	0.29
ET-G		73.11	0.68	76.67	0.71	69.24	0.61
ET-G-T _{sDEM}		71.11	0.62	76.67	0.71	73.67	0.66
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		72.50	0.65	76.00	0.70	72.44	0.65
NDVI	02-Set	64.67	0.53	44.67	0.31	50.51	0.37
NDVI-T _{sDEM}		81.21	0.73	64.00	0.57	65.71	0.59
NDVI-T _{sDEM} -H		70.24	0.58	47.33	0.35	65.35	0.57
NDVI-ET-T _{sDEM} -G		70.91	0.57	55.00	0.43	64.93	0.53

Os grupos definidos para treino e validação estão definidos Quadro 3.7.

*** Todas as datas das imagens são referentes ao ano 2002.

⁽¹⁾ NDVI – Índice de vegetação da diferença normalizada; ET – evapotranspiração diária; T_{sDEM} – temperatura de superfície de acordo com o modelo digital do terreno; G – fluxo de calor do dolo; H – fluxo de calor sensível.

O maior rigor na discriminação dos LCTs quando foram usadas imagens individuais foi obtido para a imagem de 29 de Maio, integrando as variáveis NDVI, ET, T_{sDEM} e G. Para esta mesma combinação de variáveis, o rigor obtido combinando grupos de quatro ou de duas imagens foi menor e menos consistente do que no caso anterior (Quadro 4.6). Quando considerados grupos de duas imagens, o melhor desempenho foi obtido com as imagens de 29 de Maio e 22 de Junho e para a combinação das variáveis NDVI-G-H, embora com grande oscilação entre os resultados obtidos para o treino e a validação (Quadro 4.6). As combinações com outros grupos de duas imagens apresentaram resultados piores do que os obtidos agrupando as quatro imagens.

De entre o conjunto de combinações de variáveis e imagens testadas, o maior rigor na discriminação dos LCT foi obtido para as combinações NDVI-ET- T_{sDEM} -G e NDVI- T_{sDEM} -H aplicadas ao grupo de três imagens (29 de Maio, 22 de Junho e 30 de Junho). De entre estas, a combinação NDVI-ET- T_{sDEM} -G apresentou maior consistência nos resultados obtidos com as amostras de treino e validação. Esta combinação de variáveis usou dados de reflectância e térmicos derivados da imagem Landsat, combinados com dados de fluxos de energia obtidos através do processamento do METRIC.

A matriz de confusão para a referida combinação de variáveis (Quadro 4.7) revelou uma elevada percentagem de casos (parcelas) bem classificados. Apenas se registou 1 caso mal classificado em lameiros de regadio (LMR), em culturas de sequeiro (CS), em matas de folhosas (MF) e em matas de resinosas (MR).

Quadro 4.7 – Matriz de confusão para a discriminação entre LCT obtida pela combinação de NDVI-ET- T_{sDEM} -G e usando uma combinação de três imagens (29 de Maio, 22 de Junho e 30 de Junho).

LCT	n	Tipos de coberto do solo (%)				
		LMR	BLD	CS	MF	MR
LMR	12	92	0	8	0	0
BLD	11	0	100	0	0	0
CS	15	0	7	93	0	0
MF	11	0	0	0	91	9
MR	11	0	0	0	9	91

n: número de casos considerados para cada LCT;

Os resultados correspondem a valores ponderados de acordo com o número de casos para cada LCT

A análise conjunta dos dados de treino e validação revelou um rigor global da ordem dos 93% ao combinar NDVI-ET- T_{sDEM} -G para as três imagens de Maio – Junho (no Quadro 4.6), valor 27% mais elevado do que o obtido usando apenas o NDVI (abordagem radiométrica).

Informação mais detalhada dos resultados obtidos usando apenas o NDVI é apresentada no anexo 12. Esta diferença é ainda mais evidente quando se compara o coeficiente Kappa: 0.92 e 0.56, respectivamente. Estes resultados estão em concordância com as vantagens referidas por outros autores (Julien and Sobrino 2009; Julien et al. 2006; Lucas et al. 2007) acerca do uso combinado do NDVI com dados biofísicos no sentido de ultrapassar os problemas de saturação do NDVI e sensibilidade às propriedades do solo associadas com aquele índice de vegetação (Huete et al. 2002; Phillips et al. 2008). Outros estudos referem ainda o uso do NDVI com informação adicional, nomeadamente dados de radiância com dados derivados (rugosidade de superfície, teor de humidade e produtividade de áreas com vegetação) de imagens individuais ou multi-temporais ao longo do ano, para o mapeamento do coberto do solo e de habitats (Lucas et al. 2007). A combinação de séries temporais do NDVI e da temperatura da superfície do solo, derivada a partir dos sensores NOAA/AVHRR ou MODIS, foi testada, com bons resultados, para a monitorização da vegetação à escala regional (Julien and Sobrino 2009; Julien et al. 2006; Zhang et al. 2008). Contudo, o padrão da paisagem típico nas regiões mediterrâneas e, em particular, no Nordeste de Portugal, com elevada fragmentação da propriedade – parcelas pequenas e com diferente composição específica – e com relevo irregular, torna necessária uma maior resolução espacial para o processo de discriminação dos LCT nesta paisagem.

A análise em componentes principais (PCA) aplicada à combinação das três imagens de Maio e Junho e das variáveis NDVI-ET-T_{SD}EM-G permitiu a caracterização biofísica e análise do comportamento dos LCT estudados (Figura 4.9).

Os três primeiros componentes principais obtidos pela análise, considerando a referida combinação de variáveis e imagens, explicaram 91.4% da variabilidade dos dados, respectivamente 49%, 32% e 10%.

Dada a correlação entre variáveis (definida através de uma matriz de correlações – Anexo 13), a análise apenas usou os dados relativos ao NDVI de 29 de Maio e 30 de Junho (NDVI29M e NDVI30J), a evapotranspiração em 29 de Maio (ET29M) e a temperatura da superfície em função da modelação do terreno e o fluxo de calor do solo em 22 de Junho (T_{SD}EM22J e G22J) (Figura 4.9).

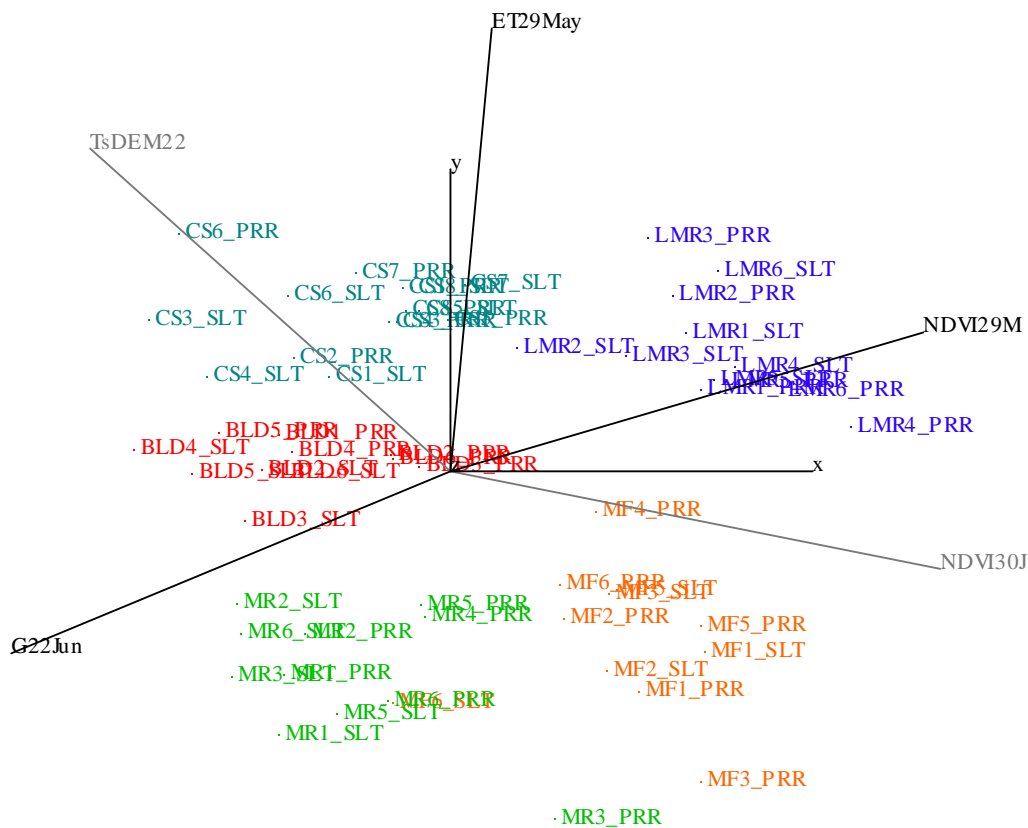


Figura 4.9 – Resultados da projecção da análise em componentes principais, de acordo com os três primeiros componentes (eixos x, y e z, respectivamente). A análise considerou a combinação das imagens de Maio (“29M”) e Junho (“22J” e “30J”) e das variáveis NDVI, ET, T_{sDEM} e G. MR, MF, BLD, CS e LMR representam as matas de resinosas, matas de folhosas, baldios, culturas de sequeiro e lameiros de regadio, respectivamente.

As variáveis do NDVI assumiram um maior peso na parte positiva do eixo do primeiro componente principal, na qual se projectaram principalmente os lameiros (LMR) e as matas de folhosas (MF), enquanto a temperatura da superfície ajustada ao DEM e o fluxo de calor do solo dominaram a parte negativa desse eixo (Figura 4.9). As matas de resinosas (MR) projectaram-se essencialmente sob a influência do fluxo de calor do solo (Figura 4.9), o que está em concordância com os resultados do Quadro 4.5, reflectindo as diferenças entre a arquitectura e estrutura dos povoamentos de resinosas e outros tipos de vegetação. Quer as culturas de sequeiro quer os baldios foram caracterizados por elevada temperatura de superfície em 22 de Junho e baixo NDVI em 30 de Junho. Estes resultados realçam as condições de ausência de rega nas parcelas de centeio e lameiros de sequeiro antes da colheita, bem como a fraca ocorrência de precipitação durante o mês de Junho. A relação NDVI- T_{sDEM} em matas de folhosas (com uma vegetação mais densa) e, por oposição, nos baldios (vegetação mais esparsa), revelou concordância com os resultados obtidos por

Goetz (1997), para um período do ano semelhante, considerando um coberto florestal (de espécies ripícolas) e um coberto de vegetação esparsa, no Kansas (EUA).

A projecção dos LCT de acordo com o segundo componente principal (eixo do y) foi principalmente influenciada pela evapotranspiração em 29 de Maio (parte positiva do eixo). Nesta porção do eixo projectaram-se essencialmente lameiros e culturas de sequeiro, revelando maior procura evapotranspirativa, enquanto as matas se projectaram sobre a parte negativa evidenciando os menores valores de ET.

O terceiro componente principal foi essencialmente dominado pelo fluxo de calor do solo em 22 de Junho na parte positiva do eixo do z, com as matas de resinosas a apresentarem os maiores valores. Este resultado realça o impacto do coberto menos denso, da arquitectura das árvores e da densidade do povoamento deste tipo de LCT sobre o fluxo de calor do solo (valores mais elevados).

Deste modo, a utilização de produtos do METRIC para a caracterização dos LCT da paisagem, nos quais se incluem os lameiros, permite a integração de informação de propriedades fenológicas, do impacto das práticas agronómicas (pastoreio, corte do feno, condições de regadio, densidade da vegetação) e dos fluxos de energia para o período de Primavera e início de Verão.

4.6 CLASSIFICAÇÃO E MÉTRICAS DA PAISAGEM

4.6.1 Classificação das imagens e mapeamento da paisagem

A classificação da paisagem de Montalegre foi estabelecida com base em três imagens Landsat, abrangendo um período de 24 anos – 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.

Em cada imagem foram definidas áreas de treino para cada uma das 11 classes consideradas no estudo, que serviram de base ao processo de classificação supervisionada. No Quadro 4.8 apresenta-se o número de pixéis por área de treino de cada classe.

Quadro 4.8 – Classes definidas para a classificação das imagens e respectivas áreas de treino em Montalegre

Classes	Áreas de treino (nº de pixéis*)		
	30 Abril 1979	14 Março 1989	29 Maio 2002
Lameiros (pastagens)	3811	8529	4967
Outra agricultura	426	160	70
Vegetação esparsa	1424	415	666
Vegetação arbustiva densa	520	301	189
Vegetação arbustiva pouco densa	798	559	365
Vegetação arbustiva baixa	1478	487	373
Matas de folhosas	154	60	32
Matas de resinosas	1334	2331	2410
Solo/Rocha nua	176	690	525
Áreas urbanas	254	212	186
Água	12397	7150	11055

(*) Cada pixel apresenta resolução espacial de 30 m.

No Quadro 4.9 apresentam-se os resultados de separabilidade entre as 11 classes na fase de treino, de acordo com a distância Bhattacharrya. A separabilidade média da imagem variou entre 1.993 (imagem de 1979) e 1.996 (imagem de 2002) o que pode ser considerado uma boa separabilidade (PCI 2001; Richards and Jia 2006).

Na imagem de Abril de 1979, os menores resultados de separabilidade foram observados entre as classes matas de folhosas (MF) e vegetação arbustiva densa (VAD) (1.9028) e entre as classes de matas de resinosas (MR) e vegetação arbustiva baixa (VAB) (1.9113). Na imagem de Março 1989 os menores resultados de separabilidade (1.9318) ocorreram entre as classes de matas de resinosas (MR) e vegetação arbustiva baixa (VAB). Para a imagem de Maio de 2002 a menor separação entre classes ocorreu entre outra agricultura (OA) e vegetação esparsa (VE) (1.9443) e entre vegetação esparsa (VE) e rocha nua (RN) (1.9468).

A menor separabilidade registada resulta da proximidade entre as assinaturas espectrais de diferentes classes, em resultado das características da vegetação, em determinados períodos do ano. São disso exemplo as matas de folhosas (por exemplo, de vidoeiros) e os giestais (vegetação arbustiva densa) ou os campos agrícolas recentemente semeados e as áreas de vegetação esparsa. Na imagem de 1979 (Landsat2 MSS) dever-se-à ainda considerar a sua menor resolução espectral comparativamente às outras duas imagens – 4 bandas vs 6 bandas (neste último caso, não contabilizando a banda térmica) –, com consequências sobre a capacidade de separação entre diferentes classes.

Quadro 4.9 – Resultados de separabilidade obtidos na fase de treino para as imagens Landsat de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002, utilizando a distância Bhattacharrya.

Classes	AG	RN	URB	LM	OA	MR	MF	VE	VA	VAD
<i>Imagem de Abril 1979</i>										
RN	2.0000									
URB	2.0000	1.9967								
LM	2.0000	1.9997	2.0000							
OA	2.0000	1.9806	1.9988	1.9762						
MR	1.9989	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000					
MF	2.0000	1.9981	1.9887	2.0000	1.9822	2.0000				
VE	2.0000	1.9896	1.9459	2.0000	1.9917	2.0000	1.9991			
VA	2.0000	2.0000	1.9999	2.0000	1.9997	1.9992	1.9998	1.9983		
VAD	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	1.9994	1.9999	1.9028	2.0000	1.9972	
VAB	2.0000	2.0000	2.0000	1.9987	2.0000	1.9113	1.9999	2.0000	1.9993	1.9696
<i>Imagem de Março 1989</i>										
RN	2.0000									
URB	2.0000	2.0000								
LM	2.0000	2.0000	2.0000							
OA	2.0000	2.0000	1.9797	1.9751						
MR	1.9840	2.0000	2.0000	1.9989	2.0000					
MF	2.0000	2.0000	1.9994	2.0000	1.9493	2.0000				
VE	2.0000	2.0000	1.9838	2.0000	1.9879	2.0000	1.9730			
VA	2.0000	2.0000	1.9993	1.9996	2.0000	1.9876	2.0000	1.9876		
VAD	2.0000	2.0000	2.0000	1.9999	1.9794	2.0000	1.9806	1.9997	1.9995	
VAB	2.0000	2.0000	2.0000	1.9994	2.0000	1.9318	2.0000	2.0000	1.9547	2.0000
<i>Imagem de Maio 2002</i>										
RN	2.0000									
URB	2.0000	1.9823								
LM	2.0000	2.0000	2.0000							
OA	2.0000	2.0000	1.9994	2.0000						
MR	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000					
MF	2.0000	2.0000	2.0000	1.9971	1.9998	2.0000				
VE	2.0000	1.9468	1.9822	2.0000	1.9443	2.0000	2.0000			
VA	2.0000	1.9955	2.0000	2.0000	1.9999	1.9997	2.0000	1.9896		
VAD	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	1.9869	2.0000	2.0000	1.9990	1.9998	
VAB	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	1.9685	2.0000	2.0000	1.9722	1.9855

AG – água; RN – rocha nua; URB – áreas urbanizadas; LM – lameiros; OA – outra agricultura. MR – matas de resinosas; MF – matas de folhosas; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; VA – vegetação arbustiva densa; VAB – vegetação arbustiva baixa

Confirmada a separabilidade entre as classes, obtida nas áreas de treino, foi verificada a normalidade do padrão espectral de cada classe, de modo a poder aplicar uma classificação de acordo com o algoritmo da máxima verosimilhança. A análise dos histogramas da resposta espectral das áreas de treino definidas para cada classe garantiu a condição de normalidade. A Figura 4.10 apresenta um exemplo de resposta espectral obtida nas áreas de treino definidas para a classe “lameiros” na imagem de 14 de Março de 1989.

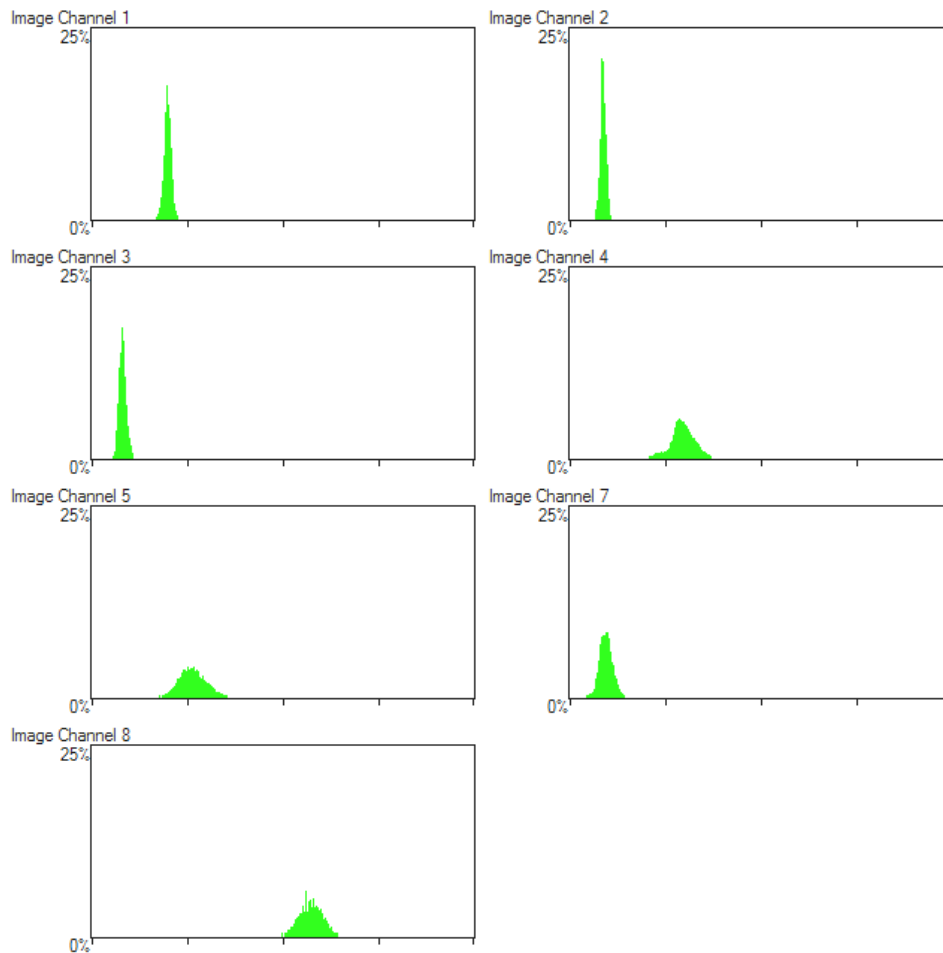


Figura 4.10 – Histogramas representativos da resposta espectral na classe lameiros para a imagem de 1989

No Quadro 4.10 apresentam-se as matrizes de confusão, para cada imagem, com os resultados dos pixéis das áreas de treino que foram correctamente atribuídos em cada classe e os pixéis incorrectamente atribuídos a outras classes. Os resultados do rigor global – que considera apenas os casos correctamente classificados – revelam que 95% dos pixéis foram correctamente atribuídos a uma classe nas áreas de treino, para a imagem de 1989, enquanto nas imagens de 2002 e 1979 essa percentagem sobe para 98% e 99%, respectivamente. O coeficiente Kappa – que integra a informação dos casos correcta e incorrectamente classificados – revela valores de 0.98 e 0.99 para as imagens de 2002 e 1979, respectivamente, e um valor menor para a imagem de 1989 (0.91). O resultado do coeficiente Kappa para a imagem de 1989 denota o peso dos pixéis mal classificados no rigor da classificação sobre as áreas de treino, de modo particular os 12.8% de pixéis de água incorrectamente classificados como matas de resinosa e os 11.6% de pixéis de vegetação esparsa mal classificados como rocha nua (Quadro 4.10). O rigor global, por apenas

considerar no seu cálculo a proporção de casos correctamente classificados, apresenta menor sensibilidade neste tipo de situações.

Quadro 4.10 – Matrizes de confusão, em valores percentuais, definidas sobre as áreas de treino no processo de classificação das imagens de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.

Classes	AG	RN	URB	LM	OA	MR	MF	VE	VA	VAD	VAB
<i>30 de Abril de 1979</i>											
AG	99.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RN	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	99.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
OA	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	99.0	0.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	96.5	0.0
VAB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	1.0	96.8
<i>14 de Março de 1989</i>											
AG	86.3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
RN	0.0	98.6	0.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0
URB	0.0	7.5	90.6	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	99.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
OA	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	95.3	0.0	0.0	0.4	0.0	4.1
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VE	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	87.5	0.2	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	97.5	0.0	2.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	99.3	0.0
VAB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	2.5	0.0	94.9
<i>29 de Maio de 2002</i>											
AG	99.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
RN	0.0	99.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	1.1	98.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	99.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VE	0.0	5.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	94.0	0.0	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.7	0.0	0.3
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	99.5	0.0
VAB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	9.4	4.6	84.7

AG – água; RN – rocha nua; URB – áreas urbanizadas; LM – lameiros; OA – outra agricultura. MR – matas de resinosas; MF – matas de folhosas; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; VA – vegetação arbustiva densa; VAB – vegetação arbustiva baixa

De modo geral, os resultados de rigor obtidos sobre as áreas de treino de cada uma das classes estão em conformidade com os resultados de separabilidade acima referidos. No entanto, na imagem de 1989 registou-se uma maior percentagem de pixéis incorrectamente classificados,

dispersos por diversas classes (Quadro 4.10). O menor rigor da classificação obtido nesta imagem poderá estar associado à qualidade radiométrica da imagem, cuja aferição pode ser obtida através da análise dos histogramas das diferentes bandas (Richards and Jia 2006). A análise da qualidade radiométrica da imagem de 1989 revelou a existência de histogramas bastante concentrados para a maior parte das bandas (Figura 4.11), do que resulta um baixo contraste da imagem e por consequência menor capacidade de separação entre as diversas classes. A informação acerca da análise da qualidade radiométrica para as imagens de 1979 e 2002 usadas na classificação é apresentada no anexo 14.

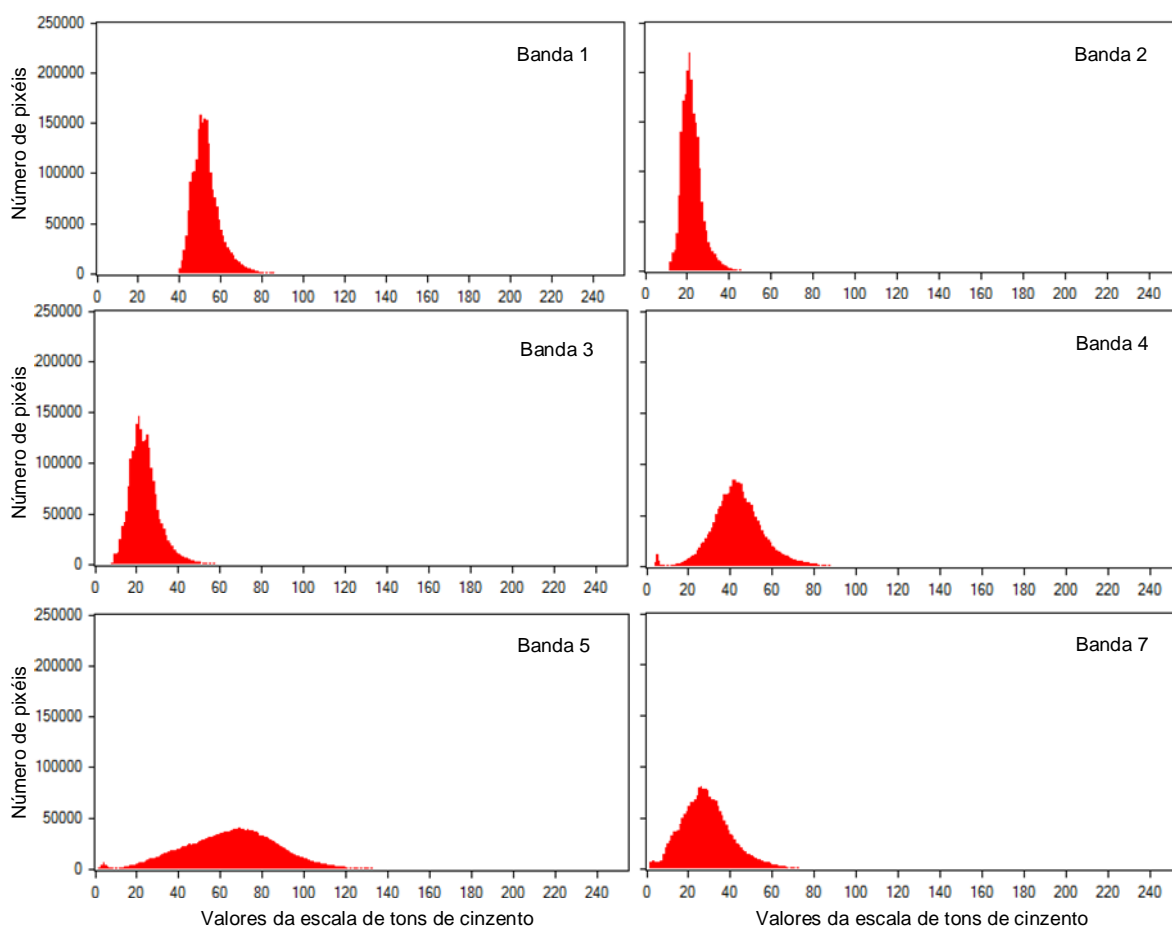


Figura 4.11 – Histogramas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat de 14 de Março de 1989.

O rigor da classificação foi ainda avaliado para áreas de validação previamente definidas. No Quadro 4.11 é apresentado o número de pixels por área de validação definido para cada classe.

Quadro 4.11 – Áreas de validação dos resultados da classificação em Montalegre, em cada classe e imagem

Classes	Áreas de validação por classe e por imagem (nº de pixéis)*		
	30 Abril 1979	14 Março 1989	29 Maio 2002
Lameiros (pastagens)	243	174	157
Outra agricultura	182	86	42
Vegetação esparsa	445	179	89
Vegetação arbustiva densa	166	94	98
Vegetação arbustiva pouco densa	366	209	312
Vegetação arbustiva baixa	443	413	373
Matas de folhosas	220	127	53
Matas de resinosas	498	381	109
Solo/Rocha nua	106	70	84
Áreas urbanas	74	96	41
Água	1101	1128	752

^(*) Cada pixel apresenta resolução espacial de 30 m.

O Quadro 4.12 apresenta as matrizes de confusão construídas a partir dos resultados da análise das áreas de validação. O rigor global foi de 93% nas imagens de 1979 e 2002 e de 92% na imagem de 1989. A análise da matriz de confusão revela ainda um coeficiente Kappa 0.93, 0.88 e 0.94, respectivamente nas imagens de 1979, 1989 e 2002.

Da análise das matrizes constata-se que a menor percentagem de pixéis correctamente classificados sobre as áreas de validação foi obtida para a classe matas de folhosas na imagem de 14 de Março de 1989 (Quadro 4.12). Na imagem de 1989, registaram-se ainda mais três classes com percentagem de pixéis de validação mal classificados acima dos 10%: vegetação esparsa, vegetação arbustiva baixa e água (Quadro 4.12). A maior parte dos pixéis incorrectamente classificados de matas de folhosas foi atribuído à classe de vegetação arbustiva densa, enquanto todos os pixéis de vegetação esparsa incorrectamente classificados foram atribuídos à classe rocha nua. Nos casos da vegetação arbustiva baixa e da água a maioria dos pixéis incorrectamente classificados foi atribuída à classe de matas de resinosas.

Também na imagem de Maio de 2002 se verificou uma menor percentagem de pixéis correctamente classificados na classe matas de folhosas, bem como na classe outra agricultura, com 5.6% dos pixéis incorrectamente classificados como lameiros (Quadro 4.12). Relativamente à imagem de 1979, registou-se alguma confusão entre áreas urbanizadas e vegetação arbustiva pouco densa, entre matas de folhosas e vegetação arbustiva densa, matas de folhosas e outra agricultura e outra agricultura e vegetação esparsa (Quadro 4.12).

Quadro 4.12 – Matrizes de confusão, em valores percentuais, definidas sobre as áreas de validação no processo de classificação das imagens de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.

Classes	AG	RN	URB	LM	OA	MR	MF	VE	VA	VAD	VAB
<i>30 de Abril de 1979</i>											
AG	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
RN	0.0	95.3	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	0.0	83.8	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	10.8	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	90.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	4.4	0.0	0.0	89.0	0.0	3.3	3.3	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	89.1	0.0	0.0	4.5	0.0
VE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	91.3	0.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	92.8	0.0
VAB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.5	92.3
<i>14 de Março de 1989</i>											
AG	87.9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
RN	0.0	95.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	4.2	94.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	0.0	0.0	0.0	98.8	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
MR	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	92.9	0.0	0.0	1.0	0.0	5.8
MF	0.0	0.8	0.0	0.0	5.5	0.0	80.3	1.6	0.0	11.8	0.0
VE	0.0	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.5	0.0	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	95.7	0.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6	0.0
VAB	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	9.2	0.0	0.0	2.2	0.0	88.1
<i>29 de Maio de 2002</i>											
AG	99.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
RN	0.0	94.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	4.9	95.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	98.7	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	0.0	0.0	5.6	87.3	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	81.1	0.0	7.5	0.0	3.8
VE	0.0	5.6	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	91.0	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.7	0.0	9.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	92.9	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	4.3	94.6

AG – água; RN – rocha nua; URB – áreas urbanizadas; LM – lameiros; OA – outra agricultura. MR – matas de resinosas; MF – matas de folhosas; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; VA – vegetação arbustiva densa; VAB – vegetação arbustiva baixa

Aplicou-se o filtro “majority” (moda) de 3x3 sobre as imagens classificadas para diminuir o ruído do tipo “salt & pepper”. No Quadro 4.13 apresentam-se os resultados do rigor de classificação sobre as áreas de validação para as imagens classificadas com filtro.

Quadro 4.13 – Matrizes de confusão, em valores percentuais, definidas sobre as áreas de validação das imagens classificadas com filtro “majority” (3x3) de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.

Classes	AG	RN	URB	LM	OA	MR	MF	VE	VA	VAD	VAB
<i>30 de Abril de 1979</i>											
AG	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
RN	0.0	95.3	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	0.0	81.9	0.0	1.4	0.0	5.6	0.0	11.1	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	90.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	3.3	0.5	0.0	89.6	0.0	3.3	3.3	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	89.1	0.0	0.0	4.5	0.0
VE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	91.8	0.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	92.8	0.0
VAB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.2	92.6
<i>14 de Março de 1989</i>											
AG	91.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
RN	0.0	97.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	2.1	96.9	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	2.3	0.0	4.7	93.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.9	0.0	0.0	1.0	0.0	6.0
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	80.3	0.8	1.6	11.8	0.8
VE	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.9	0.0	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	97.6	0.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6	0.0
VAB	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	6.8	0.0	0.0	1.2	0.0	91.5
<i>29 de Maio de 2002</i>											
AG	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
RN	0.0	98.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	2.4	95.1	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	99.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	0.0	1.4	11.4	87.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	92.3	0.0	0.0	1.9	1.9
VE	0.0	4.5	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	92.1	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.6	0.0	8.4
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	3.4	95.5

AG – água; RN – rocha nua; URB – áreas urbanizadas; LM – lameiros; OA – outra agricultura. MR – matas de resinosas; MF – matas de folhosas; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; VA – vegetação arbustiva densa; VAB – vegetação arbustiva baixa

De modo geral, a aplicação do filtro permitiu manter ou aumentar o rigor global: 92.5% na imagem de 1979, 93.1% na imagem de 1989 e 95.2% na imagem de 2002. Também o coeficiente Kappa aumentou com a aplicação do filtro, registando-se valores de 0.934, 0.907 e 0.958, respectivamente. O rigor global da classificação na imagem de 1979 não sofreu grandes alterações com a aplicação do filtro, independentemente da janela do filtro aplicada: 3x3, 1x3 ou 3x1 (Quadro 4.14). Informação mais detalhada sobre estes resultados é

apresentada no Anexo 15. Este facto será provavelmente resultado da conversão do pixel de 57 m para 30 m através do método de reamostragem do vizinho mais próximo implementado nesta imagem (Anexo 16). Segundo este método, o valor atribuído a cada pixel na imagem nova (pixel 30 m) é determinado pelo valor do pixel mais próximo na imagem original (pixel 57 m). Deste modo, resulta uma multiplicação dos valores dos pixéis originais, com consequências sobre a redução do efeito de ruído “*salt & pepper*” na imagem classificada.

Quadro 4.14 – Rigor global e coeficiente Kappa obtidos para as áreas de validação, das imagens classificadas de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002, após aplicação de filtro *majority* com janela 3x3, 1x3 e 3x1

Data da imagem	Filtro 3x3		Filtro 1x3		Filtro 3x1	
	Rigor global	Coef. Kappa	Rigor global	Coef. Kappa	Rigor global	Coef. Kappa
30-Abr-79	92.54	0.93	92.63	0.93	92.15	0.93
14-Mar-89	93.14	0.91	92.60	0.90	92.46	0.91
29-Mai-02	95.20	0.96	94.34	0.96	94.48	0.95

Para a imagem de 1989, a percentagem de pixéis correctamente classificados melhorou com a aplicação do filtro para todas as classes, excepto para a classe “outra agricultura” (Quadros 4.12 e 4.13). Também na imagem de 2002 se verificou uma ligeira diminuição dos pixéis correctamente classificados na classe “outra agricultura” (Quadros 4.12 e 4.13). Esta situação poderá resultar do frequentemente reduzido número de pixéis por mancha daquela classe, devido à pequena dimensão das parcelas agrícolas no concelho (Anexo 11). A aplicação de uma janela de filtro menor (1x3 ou 3x1) também não produziu resultados melhores e inclusivamente piorou os resultados de rigor global e coeficiente Kappa, pelo que se manteve o filtro 3x3 (Quadro 4.14). Informação mais detalhada sobre os resultados de rigor global e coeficiente Kappa utilizando filtros 1x3 e 3x1 é apresentada no Anexo 15.

A análise do rigor da classificação sobre as áreas de treino e as áreas de validação revelou resultados satisfatórios, pelo que se procedeu ao mapeamento da paisagem de todo o concelho de Montalegre em função das 11 classes usadas no procedimento de treino.

Na Figura 4.12 encontram-se os mapas de uso do solo resultantes da classificação das imagens Landsat de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.

Os mapas de uso do solo obtidos permitem analisar a distribuição no espaço e no tempo (1979 – 2002) das diferentes classes características do mosaico paisagístico de Montalegre. Além de uma análise visual – que desde logo evidencia um aumento da área de lameiros – é possível quantificar os padrões de distribuição por recurso a métricas da paisagem.

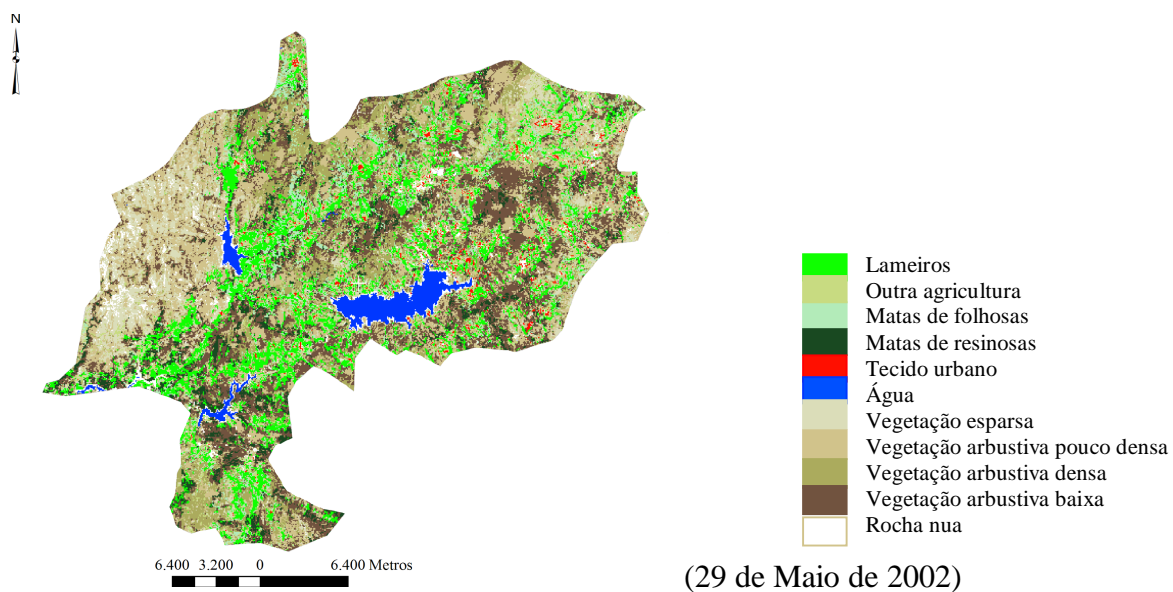
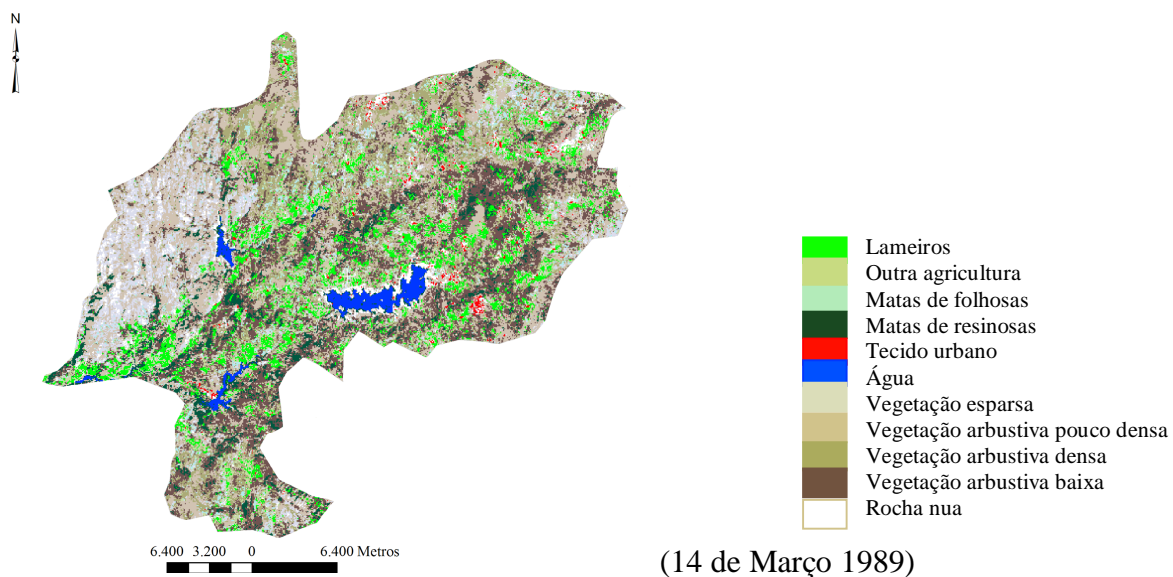
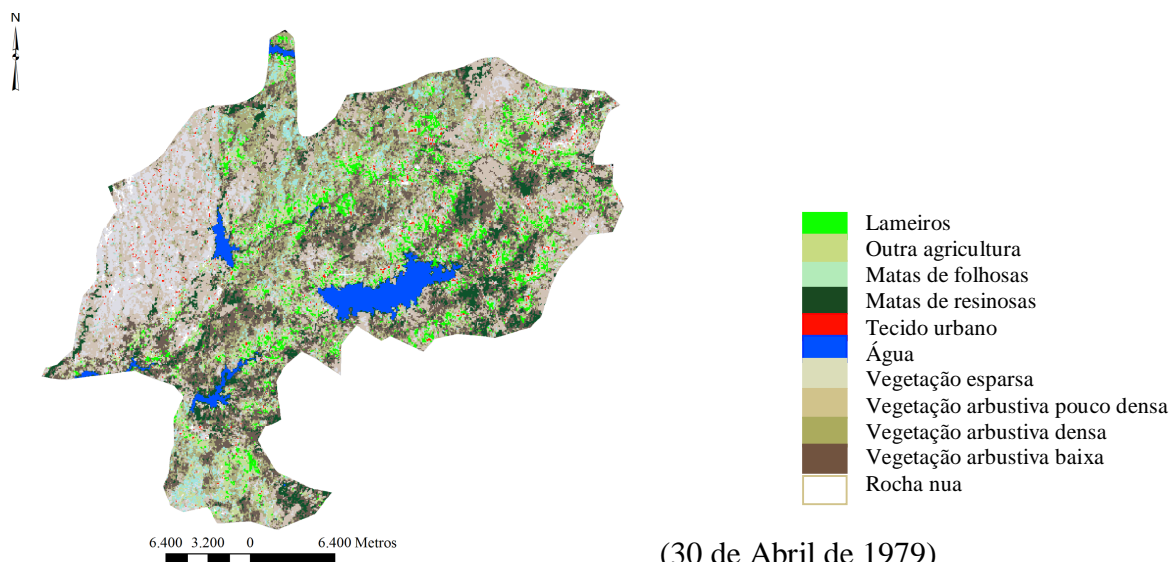


Figura 4.12 – Mapas de classificação da paisagem, após aplicação do filtro “majority” 3x3, obtidos para as imagens de 30 de Abril de 1979, 14 de Março de 1989 e 29 de Maio de 2002.

4.6.2 Métricas da paisagem

Os mapas resultantes da classificação de cada uma das três imagens Landsat serviram de base ao cálculo de diferentes tipos de métricas, analisadas a nível da mancha, classe e paisagem (Quadro 3.9). Conforme referido, as manchas representam áreas homogéneas que diferem das áreas adjacentes, as classes representam diferentes tipos de manchas e a paisagem representa o mosaico paisagístico visto como um todo.

4.6.2.1 Métricas de área calculadas para os níveis mancha e classe

No Quadro 4.15 apresentam-se os valores de área total das onze classes de uso do solo, obtidos pela classificação das imagens (com filtro), no período de 1979 a 2002.

Quadro 4.15 – Evolução da área total das onze classes de uso do solo, obtida através do processo de classificação, no período de 1979 a 2002.

Classes	1979		1989		2002 ^a	
	Área (ha)	% Paisagem	Área (ha)	% Paisagem	Área (ha)	% Paisagem
Rocha Nua (RN)	620.6	0.6	2551.3	2.5	2301.3	2.2
Veg arbustiva baixa (VAB)	21884.9	21.2	22791.4	22.1	21139.4	20.5
Veg arbustiva densa (VAD)	17302.4	16.8	15075.7	14.6	15329.1	14.9
Veg esparsa (VE)	10194.0	9.9	9386.5	9.1	9215.5	8.9
Veg arbustiva pouco densa (VA)	21144.0	20.5	24855.4	24.1	18622.2	18.1
Matas folhosas (MF)	5133.0	5.0	3148.7	3.1	6554.3	6.4
Matas resinosas (MR)	7231.6	7.0	5847.7	5.7	6502.7	6.3
Lameiros (LM)	5069.0	4.9	8400.6	8.2	12663.6	12.3
Outra agricultura (OA)	10877.0	10.5	8939.8	8.7	7581.7	7.4
Tecido urbano (URB)	729.4	0.7	672.1	0.7	839.3	0.8
Água (AG)	3045.1	2.9	1374.4	1.3	2232.4	2.2
TOTAL	103231	100	103043	100	102981	100

^a A imagem Landsat de 29 de Maio de 2002 inclui 300 ha de área coberta por nuvens, que não estão atribuídos a nenhuma das 11 classes consideradas.

De acordo com os resultados obtidos, a paisagem de Montalegre é maioritariamente ocupada pelas classes de vegetação arbustiva associadas em grande medida a áreas de baldios e que em 2002 representavam 53.5% da paisagem. As classes relacionadas com a actividade agrícola – “lameiros” e “outra agricultura” (referente a outras culturas agrícolas) – foram aquelas que registaram maiores alterações da sua área no período em estudo.

Áreas agrícolas

Neste período de 1979 a 2002, verificou-se um aumento de cerca de 7600 ha da área de lameiros e uma diminuição de cerca de 3300 ha de outras culturas agrícolas. Estes resultados revelam uma tendência similar à registada pelos três últimos recenseamentos da agricultura (RAC1979, RGA1989 e RGA1999) no concelho em estudo, conforme se constata pela Figura 4.13. Não existe informação estatística específica para as áreas de lameiros, pelo que se considerou como referência a área de prados e pastagens permanentes, referida nos recenseamentos da agricultura (RA), os quais são essencialmente representados por lameiros na região de estudo (Vieira et al. 2000b). O valor da área de lameiros obtido pela classificação das imagens dos anos de 1979 e 1989 aproxima-se muito dos dados registados pelos recenseamentos da agricultura (RA) realizados naqueles anos (Figura 4.13). Para o ano de 1999, os dados do RA revelam um aumento da área total de prados e pastagens de cerca de 15000 ha, em paralelo com um aumento da superfície agrícola útil (SAU) da ordem dos 16000 ha (INE 2001). Informação mais detalhada sobre os dados da área total de prados e pastagens permanentes obtidos através dos recenseamentos gerais da agricultura de 1989 e 1999 é apresentada no Anexo 11.

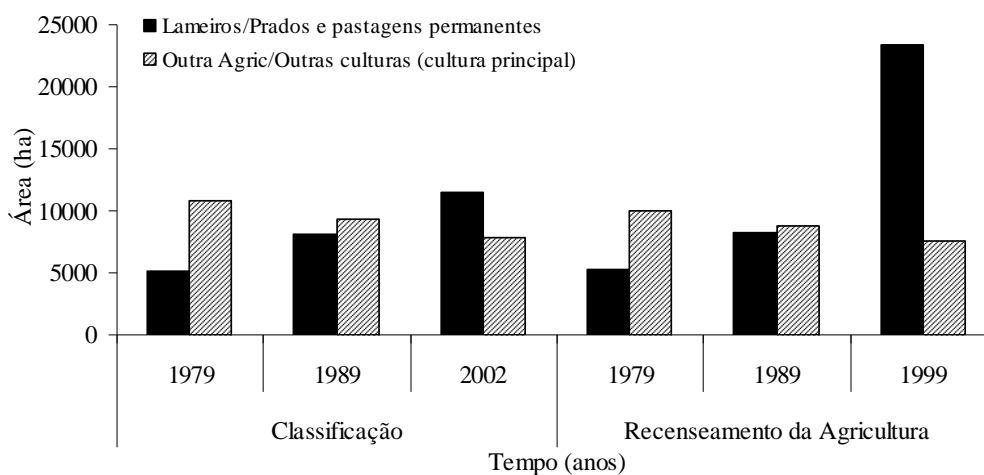


Figura 4.13 – Evolução da área total de prados e pastagens e de outras culturas (em cultura principal) em Montalegre, de acordo com dados dos recenseamentos da agricultura (INE 1979, 2001), e da área de lameiros e de outra agricultura de acordo com os resultados da classificação das imagens.

Este aumento de área de prados e pastagens não é consistente com a realidade local. De acordo com estes dados, a área de pastagens permanentes espontâneas pobres em terra limpa era de 498 ha em 1989 e aumentou para 13755 ha em 1999, enquanto a área de prados e

pastagens permanentes espontâneos melhorados e semeados em terra limpa passou de 7757 ha para 9567 ha nesse mesmo período (INE 2001). Embora a área classificada como lameiros na imagem de 2002 aponte para um valor inferior à área de prados e pastagens permanentes registada pelo RGA de 1999, o seu valor em conjunto com a área de outras culturas (obtida também pela classificação) contabiliza um valor de superfície agrícola útil mais coerente com os valores determinados nos recenseamentos anteriores.

A área classificada como outra agricultura a partir das três imagens Landsat apresenta valores muito próximos dos valores do somatório de outras culturas (em cultura principal) registados nos três RA (Figura 4.13).

A evolução das áreas de lameiros e de outras culturas agrícolas no período entre 1979 e 1999, evidenciada no processo de classificação, reflecte um interesse crescente pela actividade pecuária, em detrimento de outro tipo de produção agrícola. Esta tendência é reforçada pela indicação do número crescente de bovinos no concelho, de cerca de 17%, durante esse período – 11820 bovinos em 1979, 12429 em 1989 e 14159 em 1999 (INE 1979, 2001) – bem como pela perda de importância das principais culturas agrícolas na região, de modo particular o centeio e a batata. Segundo os dados estatísticos existentes, a área de produção de centeio em Montalegre diminuiu cerca de 43% entre 1979 e 1999. Também a cultura da batata, já anteriormente afectada pelos problemas de nemátodos associados à sua produção na região (sobretudo a produção de batata de semente) (Amaral 1943; Santos 1992), perdeu aproximadamente um terço da sua área de produção entre 1979 e 1999, passando para cerca de 1200 ha (INE 1979, 2001). Esta regressão da cultura da batata estará relacionada com a perda de competitividade económica da batata de semente nacional face à estrangeira e da necessidade de garantia de certificação decorrentes da PAC (Bernardo et al. 1992).

Pelo contrário, durante o período considerado foram implementadas medidas como a atribuição de prémios à recria de novilhas da raça barrosã, a criação da Associação de Criadores de Bovinos de Raça Barrosã (1990) e a criação do Agrupamento de Produtores da Carne Barrosã (1994), estes últimos responsáveis pela obtenção da designação de denominação de origem protegida (DOP) para os animais daquela raça (Faria 2007), que constituíram incentivo para o desenvolvimento da actividade pecuária na região.

Também Mottet et al. (2006) registaram tendência similar de conversão de sistemas de agricultura tradicionais mistos (com áreas de cultivo e produção de gado) em sistemas

especializados na produção de gado nos Pirinéus (França) entre 1950 e 2003, através da substituição de muitas das áreas de cultivo por pastagens.

Áreas de matas

No que respeita às áreas de matas, os resultados da classificação apontam para um valor de 12365 ha em 1979 e 13057 ha em 2002, mas com um declínio em 1989 (8996 ha). Os dados estatísticos do recenseamento da agricultura de 1979 registaram uma área de 13174 ha de matas e florestas no concelho de Montalegre (INE 1979), com uma redução acentuada nos recenseamentos seguintes – 5381 ha em 1989 e 3310 ha em 1999 (INE 2001). Por outro lado, o mapa de uso do solo definido pelo projecto *CORINE Land Cover* de 2000 apresenta uma área de matas e florestas de 16337 ha. A falta de consistência entre os dados das áreas florestais destas duas fontes e a indisponibilidade de outras fontes de dados dificulta a análise dos resultados obtidos pela classificação. Também Pelorosso et al. (2009) trabalhando dados estatísticos dos censos relativos a Itália observaram a não concordância com dados derivados a partir de satélite, nomeadamente dados obtidos pelo *CORINE CLC2000* e *CLC1990*, revelando resultados contraditórios para a evolução de áreas de matas e de pastagens. Este tipo de discrepância resulta, segundo aqueles autores, dos objectivos e metodologias de produção destes dois tipos de dados.

Ainda assim, é importante considerar que os valores mais baixos de separabilidade nas imagens de 1979 e 1989 envolveram as classes de matas de resinosas e matas de folhosas (Quadro 4.9). Deste modo, no processo de classificação da imagem de 1979 poderá ter ocorrido alguma confusão entre as classes matas de folhosas e vegetação arbustiva densa e nas imagens de 1979 e 1989 entre as classes matas de resinosas e vegetação arbustiva baixa (Quadro 4.9).

Áreas de vegetação esparsa e vegetação arbustiva

Os resultados da classificação apontam ainda para uma pequena redução da área ocupada por vegetação esparsa, que foi contudo mais significativa entre 1979 e 1989 (Quadro 4.15). Na análise dos resultados obtidos em 2002 para esta classe dever-se-á considerar os valores de separabilidade obtidos relativamente às classes outra agricultura e rocha nua (respectivamente 1.9443 e 1.9468, Quadro 4.9), que poderão indiciar alguma confusão com estas duas classes.

Por seu lado, a classe de vegetação arbustiva pouco densa registou um aumento da sua área da ordem dos 3700 ha entre 1979 e 1989. No entanto, o valor de separabilidade entre esta classe e a de vegetação arbustiva baixa na imagem de 1989 (1.9547, Quadro 4.9) indicia a

possibilidade de alguma confusão entre as duas classes. Entre 1989 e 2002, os resultados da classificação apontam para uma diminuição da área desta classe (VA).

As classes de vegetação esparsa, vegetação arbustiva pouco densa, vegetação arbustiva densa e vegetação arbustiva baixa integram, em grande parte da sua área, os baldios do concelho que, de acordo com dados do parcelário (actualizado entre 2006 e 2009), rondam os 45000 ha. Nestas classes de vegetação integram-se ainda os terrenos não cultivados e os giestais⁷ de propriedade privada, de difícil contabilização.

Água, rocha nua e tecido urbano

Realce ainda para as áreas classificadas como água, que constituem essencialmente as albufeiras do Alto Rabagão, Paradela, Salomonde e Venda Nova, cujos valores oscilaram entre os 1374 ha (1989) e 3045 ha (1979) (Quadro 4.15). Esta variação da área classificada como água no período entre 1979 e 2002 parece estar relacionada com o nível de enchimento das albufeiras, identificável nas imagens de satélite pela presença de margens nas albufeiras (Anexo 17). Estas margens são contabilizadas na classe rocha nua, que apresenta na imagem de 1979 um valor da área muito inferior ao observado nas outras duas imagens, coincidindo com a inexistência ou reduzida dimensão das referidas margens das albufeiras (Figura 4.12 e Anexo 17). Por oposição, a imagem classificada de 1989 apresenta a maior área de rocha nua (e de acordo com a imagem classificada também a maior área de margem das albufeiras) e menor área de água (Quadro 4.15 e Figura 4.12). Relativamente à imagem de 2002, a relação entre a área classificada como água e rocha nua não é tão evidente, provavelmente devido a alguma confusão entre as classes rocha nua e vegetação esparsa (Quadro 4.9), conforme anteriormente discutido.

As áreas referentes ao tecido urbano não sofreram grandes oscilações no período em estudo (Quadro 4.15).

Um outro tipo de métrica de área refere-se ao número de manchas (NP). A análise desta métrica mostra que as classes vegetação arbustiva densa, vegetação arbustiva pouco densa e outra agricultura são as que apresentam maior número de manchas, e conseqüentemente maior fragmentação da classe (Quadro 4.16). Os resultados revelam uma tendência de aumento do NP no período entre 1979 e 1989, enquanto no período 1989 – 2002 se registaram tendências distintas consoante as classes, nomeadamente para as classes de matas, que mantiveram um

⁷ Os giestais têm como componente básico diversas espécies de giestas (*Cytisius spp.*).

aumento do NP, e para as classes vegetação arbustiva pouco densa, lameiros e outra agricultura, que apresentaram um decréscimo do NP em 2002 face a 1989 (Quadro 4.16).

Quadro 4.16 – Número de manchas (NP) para as diversas classes, valor médio e respectivo coeficiente de variação (CV), no período de 1979 a 2002.

Classes	Número de manchas			Média	CV
	1979	1989	2002		
Rocha Nua	586	1883	1605	1358	0.50
Veg arbustiva baixa	3886	5579	5295	4920	0.18
Veg arbustiva densa	6003	8002	8001	7335	0.16
Veg esparsa	2610	4728	4852	4063	0.31
Veg arbustiva pouco densa	4214	7116	6166	5832	0.25
Matas folhosas	3987	5001	6810	5266	0.27
Matas resinosas	2098	3623	4053	3258	0.32
Lameiros	2285	4107	3301	3231	0.28
Outra agricultura	3496	6986	5489	5324	0.33
Tecido urbano	1013	901	1003	972	0.06
Água	36	52	24	37	0.38

Em todas as classes de vegetação, se verifica um predomínio das manchas pequenas (inferiores a 0.5 ha), ao longo de todo o período estudado e de modo especial entre 1989-2002 (Figura 4.14). A classe matas de folhosas é a classe de vegetação com maior percentagem de parcelas de menores dimensões em todo o período considerado, indiciando um elevado nível de fragmentação da classe (Figura 4.14). De realce é ainda o facto de a percentagem de manchas de lameiros com menos de 0.5 ha ter diminuído em 2002 comparativamente a 1989 (Figura 4.14), evidenciando uma tendência para o aumento das áreas contíguas de lameiros.

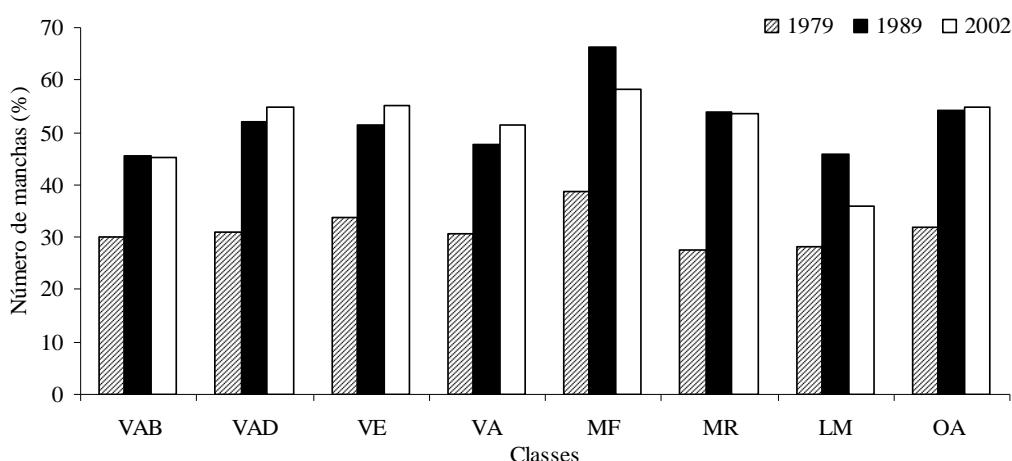


Figura 4.14 – Número de manchas (NP) com menos de 0.5 ha por classe de vegetação, em valor percentual. VAB – vegetação arbustiva baixa; VAD – vegetação arbustiva densa; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; MF – matas de folhosas; MR – matas de resinosas; LM – lameiros; OA – outra agricultura.

As manchas com área entre 0.5 e 1 ha diminuíram entre 1979 e 2002, sobretudo no primeiro decénio desse período, o que representa uma tendência contrária às parcelas de menores dimensões (Figura 4.15). Constitui excepção o caso das classes de matas, em que a percentagem de manchas desta dimensão aumentou ligeiramente entre 1989 e 2002 (mais 1.3% nas matas de folhosas e mais 1.6% nas matas de resinosas) (Figura 4.15).

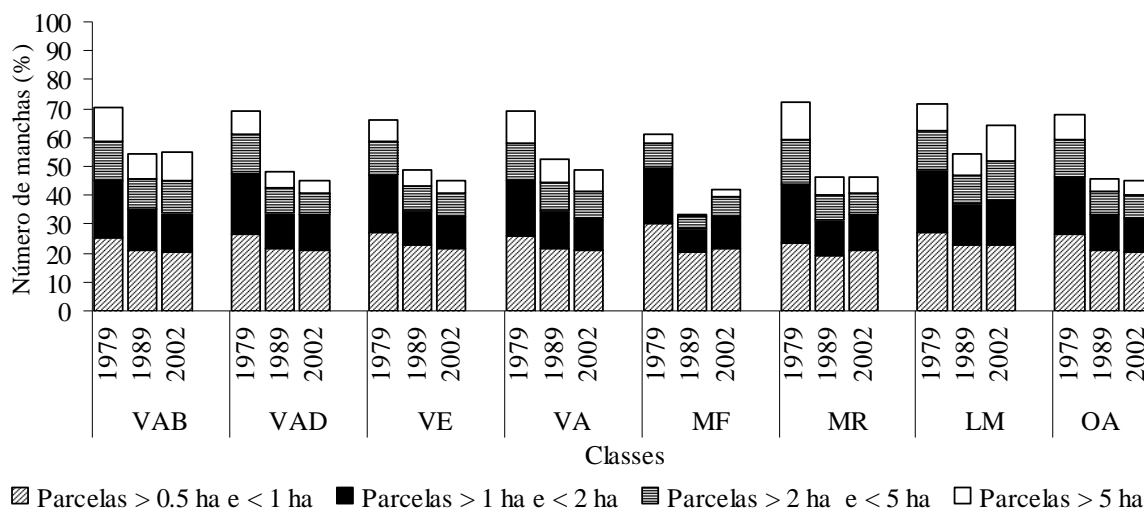


Figura 4.15 – Número de manchas (NP) por classe de área e por classe de vegetação, em valor percentual. VAB – vegetação arbustiva baixa; VAD – vegetação arbustiva densa; VE – vegetação esparsa; VA – vegetação arbustiva pouco densa; MF – matas de folhosas; MR – matas de resinosas; LM – lameiros; OA – outra agricultura.

Entre as classes de vegetação com maior percentagem de manchas de maiores dimensões (superior a 1 ha) constam os lameiros, a vegetação arbustiva baixa e a vegetação arbustiva pouco densa (Figura 4.15). Para as classes de maiores dimensões registou-se também uma diminuição entre 1979 e 2002, particularmente acentuada entre 1979 e 1989, sugerindo um aumento da fragmentação da paisagem nesse período.

No Quadro 4.17 apresentam-se ainda os resultados dos índices da área média e da mancha maior para as diversas classes. Para a maioria das classes relacionadas com vegetação a área média diminuiu entre 1979 e 2002, o que estará relacionado em grande medida com o aumento do NP (Quadro 4.16). Constituem excepção os lameiros, cuja área média aumentou, particularmente entre 1989 e 2002, reforçando a indicação do aumento das áreas contíguas de lameiros. A maior área média por classe ocorreu para as classes de vegetação arbustiva baixa e vegetação arbustiva pouco densa, enquanto as menores áreas médias ocorreram para as

matas de folhosas, que tradicionalmente se dispõem na paisagem como manchas descontínuas, muitas vezes junto a cursos de água (espécies ripícolas).

Quadro 4.17 – Índices de área média e da mancha maior para as diversas classes, valor médio e respectivo coeficiente de variação (CV), no período de 1979 a 2002.

Classes	Área média (ha)			Média	CV	Índice da mancha maior (%)			Média	CV
	1979	1989	2002			1979	1989	2002		
	Rocha Nua (RN)	1.06	1.35			1.43	1.28	0.15		
Veg arbustiva baixa (VAB)	5.63	4.09	3.99	4.57	0.20	0.92	2.69	1.31	1.64	0.57
Veg arbustiva densa (VAD)	2.88	1.88	1.92	2.23	0.25	0.66	0.85	1.47	0.99	0.43
Veg esparsa (VE)	3.91	1.99	1.90	2.60	0.44	4.03	1.18	0.70	1.97	0.91
Veg arbustiva pouco densa (VA)	5.02	3.49	3.02	3.84	0.27	1.57	3.45	4.10	3.04	0.43
Matas folhosas (MF)	1.29	0.63	0.96	0.96	0.34	0.11	0.02	0.11	0.08	0.70
Matas resinosa (MR)	3.45	1.61	1.60	2.22	0.48	0.23	0.16	0.22	0.20	0.17
Lameiros (LM)	2.22	2.05	3.84	2.70	0.37	0.09	0.22	0.54	0.28	0.82
Outra agricultura (OA)	3.11	1.28	1.38	1.92	0.54	0.41	0.08	0.18	0.22	0.74
Áreas urbanizadas (URB)	0.72	0.75	0.84	0.77	0.08	0.01	0.04	0.01	0.02	0.77
Água (AG)	84.59	26.43	93.02	68.01	0.53	1.96	0.93	1.59	1.49	0.35

Por sua vez, o índice da mancha maior atribuiu a uma mancha da classe vegetação arbustiva pouco densa a maior percentagem de ocupação do solo no concelho de Montalegre em 2002 (4.1%) e em 1989 (3.5%), enquanto em 1979 a parcela com maior percentagem de ocupação era da classe vegetação esparsa (4.0%), classes estas muito associadas aos baldios, conforme anteriormente mencionado. Também Maia (2007), num estudo realizado no Parque Nacional da Peneda Gerês, que incluiu a parte mais ocidental do concelho de Montalegre, constatou que as maiores parcelas pertenciam às classes de vegetação esparsa, matos altos e matos baixos.

4.6.2.2 Métricas de forma calculadas para o nível classe

A análise da complexidade das formas das diferentes classes foi realizada com base no índice SHAPE_AM (Quadro 3.9). Os resultados obtidos para este índice revelam que as formas mais complexas (valores mais elevados do índice) ocorrem para as classes vegetação arbustiva pouco densa, vegetação arbustiva baixa, vegetação esparsa e vegetação arbustiva densa, enquanto as áreas urbanizadas apresentam as formas mais simples, evidenciando a clara intervenção humana sobre esta última classe (Quadro 4.18). Diversos autores consideram os índices de complexidade da forma como indicadores da biodiversidade, na medida em que a complexidade das formas da paisagem é afectada pelo grau de intensidade de uso do solo (e.g.

Bailey et al. 2007; Moser et al. 2002). Neste contexto, os resultados obtidos para o índice de forma sugerem a existência de elevados níveis de biodiversidade para as classes de vegetação arbustiva e esparsa. Tal situação é de alguma forma corroborada por um estudo realizado no Parque Nacional da Peneda Gerês, no qual foi registado um elevado valor faunístico e elevada riqueza específica associados ao biótopo “matos”, que engloba grande variedade de habitats, entre os quais urzais, tojais e giestais (ICNB 2008).

Quadro 4.18 – Índice de forma (média ponderada) (> 1) – SHAPE_AM – para as diversas classes, no período de 1979 a 2002.

Classes	SHAPE_AM []		
	1979	1989	2002
Rocha Nua (RN)	1.455	1.941	2.792
Veg arbustiva baixa (VAB)	6.701	9.969	7.239
Veg arbustiva densa (VAD)	5.075	5.249	6.965
Veg esparsa (VE)	10.985	6.531	5.538
Veg arbustiva pouco densa (VA)	6.077	9.175	12.354
Matas folhosas (MF)	1.915	1.687	2.543
Matas resinosas (MR)	2.648	2.640	3.076
Lameiros (LM)	2.034	2.738	4.021
Outra agric (OA)	3.981	2.747	2.993
Áreas urbanizadas (URB)	1.200	1.695	1.603
Água (AG)	3.786	5.206	4.206

4.6.2.3 Métricas de contágio e difusão calculadas para o nível classe

No que respeita às métricas de contágio e difusão (Quadro 3.9), o índice de difusão e justaposição (IJI), que mede a extensão com que um determinado tipo de mancha está espalhado, apresenta os valores mais baixos para a classe água (Quadro 4.19), indicando que as manchas adjacentes às manchas de água pertencem a um pequeno número de classes. Valores elevados deste índice ocorrem quando as manchas de uma determinada classe são igualmente adjacentes a todos os outros tipos de classes, tendência que é mais evidente para as classes outra agricultura e vegetação arbustiva densa. Nas classes vegetação arbustiva densa, vegetação esparsa, matas de resinosas e lameiros verificou-se um claro aumento do IJI, entre 1979 e 1989, indicando que a distribuição espacial das adjacências entre tipos de manchas (classes) se tornou mais uniforme, possivelmente em resultado do aumento da fragmentação da paisagem neste período.

Quadro 4.19 – Valores do índice de difusão e justaposição (IJI), índice de divisão da paisagem (DIVISION) e índice de agregação (AI) obtidos para as imagens classificadas de 1979, 1989 e 2002.

Classes	IJI (%)			DIVISION [0, 1]			AI (%)		
	1979	1989	2002	1979	1989	2002	1979	1989	2002
Rocha Nua (RN)	69.5	64	71.5	1.0000	1.0000	1.0000	69.8	68.4	66.1
Veg arbustiva baixa (VAB)	68.4	67.1	64.8	0.9995	0.9988	0.9994	79.8	75.2	75.5
Veg arbustiva densa (VAD)	71.3	77.4	77.7	0.9998	0.9998	0.9996	74.9	67.8	69.3
Veg esparsa (VE)	67.1	73.1	68.3	0.9984	0.9998	0.9999	81.5	69.5	70.3
Veg arbustiva pouco densa (VA)	72.9	72.3	66.8	0.9992	0.9985	0.9982	82.2	75.8	74.9
Matas folhosas (MF)	71.2	72.8	67.9	1.0000	1.0000	1.0000	68.7	53.1	57.4
Matas resinosas (MR)	46.5	55.2	57.4	1.0000	1.0000	1.0000	78.8	68.4	67.8
Lameiros (LM)	59.2	69.2	74.2	1.0000	1.0000	0.9999	75.0	71.9	77.5
Outra agric (OA)	79.5	77.7	79.3	0.9999	1.0000	1.0000	76.3	62.3	62.8
Áreas urbanizadas (URB)	70.5	80.4	67.1	1.0000	1.0000	1.0000	62.3	59.7	60.6
Água (AG)	39.2	25.2	31.4	0.9996	0.9999	0.9997	95.8	92.2	95.4

O índice de divisão da paisagem (DIVISION) apresentou valores muito próximos para todas as classes e nos três anos considerados, revelando uma fraca sensibilidade deste índice para a análise das classes em estudo.

Os resultados do índice de agregação revelam a maior agregação para a classe água, isto é, concentração da classe num número reduzido de manchas, o que está em conformidade com o (NP) desta classe (Quadro 4.16). Como seria de esperar, considerando a análise já feita aos índices relacionados com a área e número de manchas, o valor do índice de agregação diminuiu para todas as classes entre 1979 e 1989, enquanto no período entre 1989 e 2002 não apresentou grande variação para a maioria das classes, realçando-se contudo um aumento no índice nas classes de lameiros e matas de folhosas (Quadro 4.19).

4.6.2.4 Métricas para o nível da paisagem

Os resultados das métricas consideradas para o nível da paisagem, que consideram o mosaico paisagístico como um todo, estão resumidos no Quadro 4.20.

Da comparação dos três anos estudados, verifica-se que as maiores variações ocorreram entre 1979 e 1989, no que respeita aos índices de área, forma, contágio e difusão, enquanto no período seguinte as variações são mais suaves. As variações mais evidentes estão relacionadas com o aumento do número de manchas entre 1979 e 1989 e uma diminuição da área média das manchas no mesmo período (Quadro 4.20), resultando uma maior

fragmentação da paisagem, evidenciada já nas métricas analisadas ao nível das classes. O aumento do índice de forma ao nível da paisagem, particularmente entre 1979 e 1989, indica um aumento da complexidade das formas das manchas que integram a paisagem, sugerindo uma menor intervenção humana sobre as diferentes classes da paisagem.

Quadro 4.20 – Métricas calculadas para o nível da paisagem a partir dos resultados da classificação das imagens de 1979, 1989 e 2002

Métricas	1979	1989	2002
Número de manchas. NP (n°)	30214	47978	46853
Área média. AREA_MN (ha)	3.42	2.15	2.21
Índice da mancha maior. LPI (%)	4.03	3.45	4.10
Índice da forma. SHAPE_MN []	1.28	1.35	1.37
Índice de contágio. CONTAG (%)	39.3	35.4	33.6
Índice de diversidade de Simpson. SIDI []	0.85	0.84	0.87
Índice de equitabilidade de Simpson. SIEI []	0.94	0.93	0.94

A análise do índice CONTAG, que mede o grau de agregação dos pixéis de uma mesma classe e que é exclusivamente usado ao nível da paisagem, apresenta um nível elevado de desagregação da paisagem, mais acentuado a partir de 1989 (CONTAG igual a 100% quando a paisagem consiste num única mancha).

O índice de diversidade de Simpson, que permite quantificar a composição da paisagem, apresenta valores elevados, de modo particular em 2002 (Quadro 4.20), evidenciando um aumento da diversidade na composição da paisagem, o que poderá estar relacionado com o aumento de fragmentação da paisagem, tal como tem acontecido noutras regiões da Europa (e.g. Carranza et al. 2007; Mottet et al. 2006). Por seu lado, o índice de equitabilidade de Simpson (SIEI), que quantifica a uniformidade de distribuição das manchas das diferentes classes na paisagem, apresenta valores elevados e muito próximos ao longo do período considerado, indicando que os diversos elementos da paisagem (classes) se encontram de forma equitativamente abundante na paisagem. Comparando os resultados dos índices de diversidade SHDI e SIEI obtidos no presente trabalho e num estudo realizado no Parque Nacional da Peneda Gerês por Maia (2007), a paisagem de Montalegre apresenta valores mais elevados. No entanto, a comparação dos valores do SHDI deverá ser considerada com cuidado, devido ao diferente número de classes considerado.

4.6.2.5 Métricas da paisagem – síntese

A generalidade das métricas estudadas revelou informação relevante para o estudo das alterações da paisagem no período entre 1979 e 2002.

De modo geral, os resultados das métricas calculadas para os diferentes níveis, evidenciaram maiores alterações no período entre 1979 e 1989.

À semelhança do que vem acontecendo em outras regiões de Montanha na Europa (e.g. Zomeni et al. 2008), verificou-se um aumento da fragmentação da paisagem, particularmente entre 1979 e 1989, indiciado pelo aumento do número de manchas e diminuição da sua área média, bem como pelos índices de agregação e de difusão e justaposição. Este aumento na fragmentação da paisagem de Montalegre poderá resultar do abandono de campos de cultivo e sua substituição por outro tipo de utilização do solo ou sua colonização por sucessão de comunidades vegetais, bem como da própria evolução da sucessão ecológica em parcelas não agrícolas.

De forma coincidente, os fluxos populacionais no distrito de Vila Real apresentaram também maiores variações entre a década de 1970 e 80: a população residente no distrito em 1979 era de 347000 habitantes, tendo reduzido para 264400 em 1984 e para 217000 em 2000 (INE 1970, 1984, 2002). Esta diminuição de 38% da população no distrito terá sido mais acentuada nas áreas mais rurais, com conseqüente abandono da agricultura. Em conseqüência, muitas áreas agrícolas terão sido abandonadas e/ou reconvertidas em sistemas de agricultura mais extensivos, nomeadamente em lameiros.

Por outro lado, os resultados dos diferentes índices de área e contágio/difusão referentes à classe lameiros, indiciam, conforme referido, um aumento das áreas contíguas desta classe, particularmente entre 1989 e 2002, e um aumento global da área de lameiros. Estes resultados sugerem que as medidas agro-ambientais, introduzidas na reforma da Política Agrícola Comum (PAC) de 1992, tiveram neste concelho um forte impacto sobre a alteração do uso do solo. Concretamente, a medida 33, que prevê ajudas a produtores com áreas de lameiros, terá constituído incentivo para a conversão de campos destinados a outras culturas agrícolas ou campos abandonados em lameiros. Também Mottet et al. (2006) registaram tendência semelhante de aumento das áreas de pastagens, na área de Viillelongue (Pirinéus), após 1975 e até à actualidade.

O aumento da área de lameiros associado ao aumento do número de bovinos sugere uma tendência de especialização na actividade pecuária neste concelho. Na realidade, a crescente

área de lameiros associada à produção de gado em regime extensivo poderá constituir um instrumento de dinamização da economia em Montalegre, desde que devidamente incentivada em complementaridade com políticas regionais, tal como sugerido para outras zonas de montanha em toda a área Mediterrânea (Lasanta et al. 2006; Mottet et al. 2006).

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho tinha como principal objectivo inferir a aplicabilidade da detecção remota para monitorizar lameiros considerando diversas perspectivas. Analisar a capacidade de diferentes sensores para identificar e distinguir lameiros de regadio e sequeiro e para traçar perfis da dinâmica da vegetação. Avaliar o potencial de imagens de satélite Landsat, com banda térmica, para estabelecer um balanço de energia à superfície do solo e consequentemente estimar e mapear a evapotranspiração em lameiros. Estabelecer uma caracterização biofísica dos principais elementos caracterizadores da paisagem com base em dados derivados a partir de imagens de satélite. Analisar a dinâmica de ocupação do solo entre 1979 e 2002 no concelho de Montalegre, enfatizando a evolução espacial dos lameiros.

De modo geral, os diversos sensores considerados neste estudo – com diferentes resoluções espaciais e temporais – revelaram-se adequados para a monitorização de lameiros, considerando as várias perspectivas estabelecidas nos objectivos propostos.

Os dados resultantes das medições multi-temporais de reflectância com o espectroradiómetro permitiram detectar, com grande detalhe, alterações na dinâmica da vegetação, decorrentes do ciclo da cultura e das práticas culturais. Esta informação permitiu não só a validação como também a interpretação dos resultados obtidos através de sensores remotos.

A adequabilidade dos sensores de resolução espacial intermédia – SPOT e Landsat –, para a análise da dinâmica dos lameiros durante grande parte do ano, permitiu a sua utilização para avaliar com detalhe as condições da vegetação ao nível da parcela, as condições de regadio e para diferenciar entre LCT. Neste contexto, o sensor Landsat apresentou particular interesse dado o amplo arquivo histórico de imagens, que permitiu a análise das alterações da paisagem desde 1979, e dada a integração de uma banda térmica, que permitiu a aplicação de modelos de estimativa do balanço de energia sobre a superfície do solo a partir de dados de detecção remota.

O sensor VGT, com menor resolução espacial mas com elevada resolução temporal, revelou-se igualmente interessante no estudo dos lameiros. A elevada resolução temporal e o histórico de imagens de uma série de 11 anos permitiu acompanhar, com bons resultados, a dinâmica intra e inter-anual da vegetação em lameiros. De modo geral, o perfil temporal do $NDVI_{VGT}$ revelou sensibilidade para detectar as condições de desenvolvimento da vegetação e as

práticas culturais observadas em campo. A análise da variação inter-anual do $NDVI_{VGT}$ para o período de 11 anos revelou uma relação entre a temperatura e o desenvolvimento da vegetação (traduzido pelo NDVI médio) durante o período de desenvolvimento, bem como entre a temperatura e a data de ocorrência do máximo desenvolvimento da vegetação. Desta análise ressaltou ainda a necessidade de complementar a informação obtida com o sensor VGT com dados de disponibilidade de água em lameiros, incluindo não só os inputs de precipitação mas também de rega, de modo a analisar o impacto desta variável num cenário anunciado de limitação de uso da água. No entanto, a inexistência de dados históricos de rega em lameiros e a inadequação dos métodos convencionais de medição e/ou estimação da ET neste tipo de pastagens dispostas em zonas de montanha e sujeitas a um sistema de regadio tradicional dificulta este tipo de análise.

Nesse sentido, a estimativa e mapeamento da evapotranspiração através do modelo METRIC pode constituir uma ferramenta de grande utilidade.

Os resultados da aplicação do METRIC em imagens Landsat permitiram uma primeira aproximação aos coeficientes culturais, expressos como fracção de evapotranspiração de referência, e aos valores de evapotranspiração não só em lameiros como também nos demais elementos que integram a paisagem de Montalegre. Os resultados de ET e ETrF aproximaram-se de valores de referência obtidos por outros autores para a maioria dos tipos de coberto analisados, embora os resultados obtidos para as culturas altas, nomeadamente as matas, indiquem uma subestimação dos valores daquelas variáveis.

Alguns dos produtos derivados a partir do METRIC constituíram também uma interessante ferramenta de caracterização dos principais LCT que integram a paisagem de Montalegre. Esta abordagem biofísica – integrando informação espectral e térmica das imagens de satélite e dados meteorológicos – permitiu não só distinguir entre vários LCT mas também avaliar e comparar as respostas dos fluxos de energia em função do tipo de coberto, arquitectura, fenologia e práticas culturais.

A disponibilidade de imagens Landsat da região de Montalegre desde final da década de 1970 tornou possível o estudo da evolução da paisagem nos últimos 25 anos e inferir sobre o impacto dos fluxos demográficos, das políticas da agricultura e das políticas regionais nesse período. Da aplicação das métricas da paisagem aos mapas de ocupação do solo derivados pelos procedimentos de classificação das imagens de satélite constatou-se que as maiores alterações no mosaico paisagístico ocorreram no período entre 1979 e 1989, com um aumento

da fragmentação da paisagem. Conforme discutido, este aumento de fragmentação da paisagem foi acompanhado por uma diminuição da população residente no concelho, com conseqüente abandono de áreas agrícolas e sua substituição por diferentes tipos de uso do solo. Por outro lado, vários índices apontaram para um aumento das áreas de lameiros, particularmente entre 1989 e 2002, indiciando uma especialização na actividade pecuária e evidenciando o impacto do incentivo à conservação deste tipo de pastagens semi-naturais de montanha através da aplicação de medidas agro-ambientais.

5.2 PERSPECTIVAS

A integração da informação gerada através das diversas perspectivas consideradas na monitorização dos lameiros constitui uma ferramenta relevante para apoiar a implementação de estratégias de gestão dos lameiros e dos seus regadios tradicionais adequadas não só à dinâmica da paisagem como também às dinâmicas regionais relacionadas com a economia e o desenvolvimento rural.

De facto, o conhecimento acerca do impacto das políticas agrícola e regional e das alterações demográficas das últimas décadas sobre os sistemas de agricultura e a paisagem permite-nos colocar hipóteses para o futuro em função das tendências dos factores que previsivelmente virão a afectar a região em estudo. Entre esses factores constarão seguramente a depopulação, o envelhecimento da população agrícola e a crescente limitação do uso da água.

Contudo, as ferramentas de detecção remota aplicadas neste estudo poderão ser aplicadas para tornar a gestão dos sistemas de agricultura associados aos lameiros mais eficiente e conseqüentemente economicamente mais atractiva para o agricultor.

Nomeadamente, a informação obtida pela análise inter-anual do $NDVI_{VGT}$ poderá ser aliada a modelos de simulação para a estimativa da produção da erva em lameiros, à escala regional e de grupos de parcelas contíguas, tendo por base a informação das temperaturas de Primavera. Os resultados obtidos podem igualmente ser usados para optimizar a calendarização do corte do feno (e do corte da rega anterior a esta operação), aumentando a eficiência da gestão das actividades das explorações agrícolas. A uma escala mais ampla, a informação dos padrões inter-anuais do NDVI pode ser usada na análise da resposta dos lameiros perante diferentes cenários de variabilidade climática. De modo particular, poderá ser interessante complementar a informação obtida com estudos de produtividade, de modo a analisar o impacto agronómico e económico de diferentes cenários de variabilidade climática sobre a dinâmica dos lameiros.

Potencialmente interessante poderá ser também a implementação de medições de reflectância com o espectroradiómetro com maior periodicidade, de modo a testar o aumento da correlação entre os dados obtidos em campo e pelo sensor VGT. Por outro lado, poder-se-á testar o incremento de sensibilidade na definição dos perfis de NDVI em lameiros derivados a partir do sensor MODIS, com melhor resolução espacial do que o VGT e igualmente elevada resolução temporal.

Por outro lado, a informação obtida através da aplicação do METRIC em imagens Landsat poderá ser usada na avaliação do impacto da disponibilidade da água em lameiros e demais elementos da paisagem e na definição de estratégias de gestão da água adequadas à disponibilidade deste recurso. Para esse efeito, poderá ser de grande interesse aplicar este modelo a um maior número de imagens Landsat, de outros anos e de diferentes períodos do ano (nomeadamente do início da Primavera e início de Outono).

Este tipo de informação pode ainda ser complementado à escala da parcela pela utilização de câmaras de infravermelho térmico, de modo a avaliar a uniformidade de distribuição do filme de água sobre as pastagens e consequentemente implementar um adequado traçado das tralhas.

Será também interessante testar os algoritmos da nova versão do modelo METRIC (versão 2.0.6, de Janeiro de 2010) e analisar as alterações sobre os diferentes LCT em Montalegre. Eventualmente conseguir-se-á um maior ajustamento das estimativas do fluxo de calor sensível e consequentemente da ET em culturas altas, nomeadamente em áreas de matas.

A estimativa dos componentes do balanço de energia sobre o solo através do METRIC revelou potencial não só para inferir consumos de água em lameiros mas também para caracterizar os diversos componentes da paisagem. Deste modo poderá ser interessante integrar informação derivada dos dados espectrais das imagens de satélite com informação derivada do METRIC para implementar uma metodologia de classificação da paisagem com base em dados biofísicos.

Por tudo o que foi referido, a utilização da detecção remota para a monitorização de lameiros, considerando e integrando informação de sensores com diferentes resoluções espaciais e temporais, pode ser utilizada para fundamentar a definição de estratégias coordenadas de conservação dos lameiros, gestão da paisagem, dos sistemas de agricultura e da água e de desenvolvimento rural.

6. BIBLIOGRAFIA

- Al-Marshudi, A.S. (2007). The falaj irrigation system and water allocation markets in Northern Oman. *Agricultural Water Management*, 91, 71-77
- Allen, R.G. (2000). REF-ET. Reference Evapotranspiration Calculator. Version 2.01.17. In Kimberly, Idaho: University of Idaho. Research and Extension Center
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56* Rome, Italy: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A., & Trezza, R. (2005a). A landsat-based energy balance and evapotranspiration model in western US water rights regulation and planning. *Journal of Irrigation and Drainage System*, 19, 251 – 268
- Allen, R.G., Walter, I.A., Elliott, R.L., Howell, T.A., Itenfisu, D., Jensen, M.E., & Snyder, R.L. (2005b). *The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation: ASCE-American Society of Civil Engineers*
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J.L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., & Robison, C.W. (2007a). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 395-406
- Allen, R.G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007b). *METRICtm. Mapping evapotranspiration at high resolution. Applications Manual for Landsat satellite imagery*. Kimberly, Idaho: University of Idaho
- Allen, R.G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007c). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 380-394
- Allen, R.G., Wright, J.L., Pruitt, W.O., Pereira, L.S., & Jensen, M.E. (2007d). Water Requirements. In G.J. Hoffman, R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin & R.L. Elliot (Eds.), *Design and Operation of Farm Irrigation Systems (2nd Edition)* (pp. 208-288). St. Joseph, MI: ASABE
- Allen, R.G., Kjaersgaard, J., & Garcia, M. (2008a). Fine-tuning components of inverse-calibrated, thermal-based remote sensing models for evapotranspiration. In, *Pecora 17 – The Future of Land Imaging... Going Operational*. Denver, Colorado
- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., & Kjaersgaard, J. (2010). *METRICtm. Mapping Evapotranspiration at High Resolution. Applications Manual for Landsat Satellite Imagery*. Version 2.0.6. Kimberly, Idaho: University of Idaho
- Amaral, V.S.G. (1943). O problema da batata-semente em Portugal. In, *Relatório final do curso de Engenheiro Agrônomo* (p. 166). Lisboa: Universidade Técnica. Instituto Superior de Agronomia
- Anderson, M.C., Kustas, W.P., & Norman, J.M. (2003). Upscaling and downscaling - a regional view of the soil-plant-atmosphere continuum. *Agronomy Journal*, 95, 1408 - 1423

- Bailey, D., Herzog, F., Augenstein, I., Aviron, S., Billeter, R., Szerencsits, E., & Baudry, J. (2007). Thematic resolution matters: Indicators of landscape pattern for European agro-ecosystems. *Ecological Indicators*, 7, 692-709
- Bakker, J.P. (1989). *Nature management by grazing and cutting. On the ecological significance of grazing and cutting regimes applied to restore former species-rich grassland communities in the Netherlands*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Barducci, A., Mecocci, A., Alamanno, C., Pippi, I., & Marcoionni, P. (2003). Multi-resolution least-squares spectral unmixing algorithm for subpixel classification of hyperspectral images. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, 3, 1799-1801
- Baret, F., & Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35, 161-173
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., & Holtslag, A.A.M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *Journal of Hydrology*, 212-213, 198-212
- Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P., & Allen, R.G. (2005). SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131, 85-93
- Behringer, J., Buerki, R., & Fuher, J. (2000). Participatory integrated assessment of adaptation to climate change in Alpine tourism and mountain agriculture. *Integrated Assessment*, 1, 331-338
- Beniston, M. (2003). Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change*, 59, 5-31
- Berasain, J.M.L., & Pamplona-Irun (2008). From equilibrium to equity. The survival of the commons in the Ebro Basin: Navarra from the 15th to the 20th centuries. *International Journal of the Commons*, 2, 162-191
- Bernardo, A., Carvalho, A.C., Barreto, A.L., Cardoso, A.M., Vieira, J.P., Duarte, J.P., & Pereira, L.A. (1992). *Programa de desenvolvimento agrícola regional do Barroso. Caracterização da zona de incidência do PDAR. Primeiro documento de trabalho*
- Betty, J. (1999). The development of water meadows in the southern counties. In H. Cook & T. Williamson (Eds.), *Water Management in English Landscape* (pp. 179-195): Edinburgh University Press
- Bhatta, K.P., Ishida, A., Taniguchi, K., & Sharma, R. (2005). Performance of agency-managed and farmer-managed irrigation systems: A comparative case study at Chitwan, Nepal. *Irrigation and Drainage Systems*, 20, 177-191
- Bock, M. (2003). Remote sensing and GIS-based techniques for the classification and monitoring biotopes. Case examples for a wet grass-and moor land area in Northern Germany. *Journal for Nature Conservation*, 11, 145 – 155
- Bodner, G., Loiskandl, W., & Kaul, H.-P. (2007). Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. *Agricultural Water Management*, 93, 85-98
- Bravo, G., & Moor, T.D. (2008). The commons in Europe: from past to future. *International Journal of the Commons*, 2, 155-161

- Broge, N.H., & Leblanc, E. (2000). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76, 156-172
- Caldas, E.C. (1998). *A Agricultura na História de Portugal*. Lisboa: EPN
- Calvo-Iglesias, M.S., Fra-Paleo, U., & Dias-Varela, R.A. (2008). Changes in farming system and population as drivers of land cover and landscape dynamics: The case of enclosed and semi-openfield systems in Northern Galicia (Spain). *Landscape and Urban Planning*, 90, 168-177
- Capela, J.V., Borralheiro, R., & Matos, H. (2006). *As freguesias do distrito de Vila Real nas memórias paroquiais de 1758. Memórias, história e património*. Braga: Universidade do Minho
- Caraveli, H. (2000). A comparative analysis on intensification and extensification in mediterranean agriculture: dilemmas for LFAs policy. *Journal of Rural Studies*, 16, 231-242
- Carranza, M.L., Acosta, A., & Ricotta, C. (2007). Analyzing landscape diversity in time: The use of Rènnyi's generalized entropy function. *Ecological Indicators*, 7, 505-510
- Castro, L.M. (2008). La tecnología de riego en la cultura de los pueblos andinos. In E. Ruz & L.S.Pereira (Eds.), *Modernización de riegos y uso de Tecnologías de información* (CD-ROM paper 2.2). La Paz, Bolivia: PROCISUR, IICA and CYTED, Montevideo
- Cayrol, P., Chehbouni, A., Kergoat, L., Dedieu, G., Mordelet, P., & Nouvellon, Y. (2000). Grassland modeling and monitoring with SPOT-4 VEGETATION instrument during the 1997-1999 SALSA experiment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 105, 91-115
- Chakravarti, Laha, & Roy (1967). *Handbook of Methods of Applied Statistics*: John Wiley and Sons
- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2674-2677
- Chavez, P.S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459-479
- Chavez, P.S.J. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62, 1025-1036
- Chen, J. (1996). Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22, 229-242
- Claval, P. (2007). About Rural Landscapes: The Invention of the Mediterranean and the French School of Geography. In Z. Roca, T. Spek, T. Terkenli, T. Plieninger & F. Höchtl (Eds.), *European Landscapes and Lifestyles: The Mediterranean and Beyond* (pp. 1-19). Lisboa: Edições Universitárias Lusófonas
- Coelho, I.S. (2007). A silvopastorícia, uma perspectiva histórica. In J.S. Silva (Ed.), *Árvores e florestas de Portugal. Os montados. Muito para além das árvores*. (pp. 177-209). Lisboa: Público, Comunicação Social, SA. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento
- Colditz, R.R., M.Schmidt, & Dech, S. (2008). A Methodology for Advanced Change Detection with Fuzzy Image Classification In, *5th International Conference on*

Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control. Mexico City, MEXICO: IEEE

- Cook, A., Stearne, K., & Williamson, T. (2003). The origins of water meadows in England. *The Agricultural History Review*, 51, 155-162
- Cots-Folch, R., Martínez-Casanovas, J.A., & Ramos, M.C. (2009). Agricultural trajectories in a mediterranean mountains region (Priorat, NE Spain) as a consequence of vineyard conversion plans. *Land Degradation & Development*, 20, 1-13
- Courault, D., Bsaibes, A., Kpemlie, E., Hadria, R., Hagolle, O., Marloie, O., Hanocq, J.-F., Oliosio, A., Bertrand, N., & Desfonds, V. (2008). Assessing the potentialities of FORMOSAT-2 data for water and crop monitoring at small regional scale in South-Eastern France. *Sensors*, 8, 3460-3481
- Crippen, R.E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34, 71-73
- Cuesta, A., Montoro, A., Jochum, A.M., López, P., & Calera, A. (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *Separata ITEA. Información Técnica Económica Agraria*, 101 212-224
- Cunha, M., Marçal, A.R.S., & Silva, L. (2010). Very early prediction of wine yield based on satellite data from VEGETATION. *International Journal of Remote Sensing*, In press
- Daughtry, C.S.T., Walthall, C.L., Kim, M.S., Colstoun, E.B.d., & McMurtreyIII, J.E. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74
- DGE (1915). *A população da Europa desde 1890 a 1910. A população de Portugal desde 1864 a 1911*. Lisboa: Ministério das Finanças. Direcção Geral da Estatística
- Dries, A.v.d. (2002). The art of Irrigation. The development, stagnation and redesign of farmer-managed irrigation systems in Northern Portugal. PhD Dissertation. In (p. 369): Wageningen Universiteit
- Elmore, A.J., Mustard, J.F., Manning, S.J., & Lobell, D.B. (2000). Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of Spectral Mixture Analysis and the normalized Difference Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, 73, 87-102
- Emberger, L. (1942). Un project d'une classification des climats du point de vue phytogéographique. *Bull.Soc.Hist.Nat.Toulouse*, 77, 97-124
- Enciso, A. (2008). Puesta en valor de riegos ancestrales: galerías filtrantes, andenes, amunas y waru waru - Perú. In E. Ruz & L.S. Pereira (Eds.), *Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información (Taller internacional)* (pp. 69-71 + CD-ROM paper 62.66.). La Paz, Bolivia: PROCISUR, IICA and CYTED, Montevideo
- Epiphany, J.C.N., & Huete, A.R. (1995). Dependence of NDVI and SAVI on sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. *Remote Sensing of Environment*, 51, 351-360
- Fabricante, I., Oesterheld, M., & Paruelo, J.M. (2009). Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern atagonia. *Journal of Arid Environments*, 73, 745-753
- Faria, M.M. (2007). *Os cornos do auroque. Raças de bovinos no Entre Douro e Minho*: Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte

- Fensholt, R., Rasmussen, K., Nielsen, T.T., & Mbow, C. (2009). Evaluation of earth observation based long term vegetation trends — Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1886-1898
- Ferreira, A.M., Dias-da-Silva, A., Cruz, M.A., Vieira, R.F., Azevedo, J., & Sousa, A. (1981). Os fenos do Nordeste de Portugal. *Pastagens e Forragens*, 2, 67 – 77
- Firmino, A. (1999). Agriculture and landscape in Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 46, 83-91
- Fisher, J.I., Mustard, J.F., & Vadeboncoeur, M.A. (2006). Green leaf phenology at Landsat resolution: scaling from the field to at satellite. *Remote Sensing of Environment*, 100, 265-279
- Fleskens, L., Duarte, F., & Eicher, I. (2009). A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trás-os-Montes olives groves. *Journal of Rural Studies*, 25, 141-155
- Fleury, P., Petit, S., Mattanovich, E., Ros, G.D., & Miéville-Ott, V. (2004). Constructing sustainable agriculture at local level. Insights from small-scale farming in the Alps. In A. Cristóvão (Ed.), *Farming and Rural Systems Research and Extension. European Farming and Society in Search of a New Social Contract - Learning to Manage Change. 6th European IFSA Symposium* (pp. 243-258). Vila Real, Portugal: European Group of the IFSA International Farming Systems Association
- Fontes, A.L. (1979). *Etnografia transmontana. O comunitarismo do Barroso. Montalegre*: Livraria Editora Pax
- Foody, G.M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, 185-201
- Gamon, J.A., Penuelas, J., & Field, C.B. (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 41, 35-44
- Gandullo, J.M., & Serrada, R. (1977). *Mapa de produtividade potencial florestal de la España peninsular*. Madrid: INIA. Ministerio de Agricultura
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ruiz-Flano, P., Ortigosa, L., & White, S. (1996). Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, 11, 267-277
- Girel, J. (1994). Old distribution procedure of both water and matter fluxes in floodplains of Western Europe: Impact on present vegetation. *Environmental Management*, 18, 203-221
- Gitelson, A.A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology*, 161, 165–173
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y., & Merzlyak, M.N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58, 289-298
- Glen, E.P., Huete, A.R., Nagler, P.L., & Nelson, S.G. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8, 2136-2160

- Godinho, P., Sequeira, B., Paredes, P., & Pereira, L.S. (2008). Simulação das necessidades de água das culturas pela metodologia dos coeficientes culturais duais. Modelo SIMDualKc. In E. Ruz & L.S. Pereira (Eds.), *Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información* (pp. 26-28 + CD-ROM paper 21.25). La Paz. Bolivia: CYTED e PROCISUR/IICA
- Goetz, S.J. (1997). Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 71-94
- Gonçalves, D.A. (1985). A rega de lima no interior de Trás-os-Montes. In. Vila Real: Instituto Universitário de Trás-os-Montes e Alto Douro
- Goulven, P.L., Ruf, T., & Ribadeneira, H. (1989). Irrigation Traditionnelle and les Andes Équatoriennes. Recherche et Planification. In, *VIIth Afro-Asian Regional Conference* (pp. 351-361). Tokyo: International Commission on Irrigation and Drainage. ICID
- Guillet, D. (2006). Rethinking Irrigation Efficiency: Chain Irrigation in Northwestern Spain. *Human Ecology*, 34, 305-329
- Guo, X., Price, K.P., & Stiles, J. (2003). Grasslands Discriminant Analysis Using Landsat TM Single and Multitemporal Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69, 1255-1262
- Gusmão, F.V., Sarmiento, F.Q.M., Melo, H.L.G.R., Ferreira, L.S., & Henriques, R.A.P. (1978). *Estudo de fomento pecuário para a sub-região Norte Interior*: Ministério da Agricultura e Pescas. Secretaria de Estado de Fomento Agrário
- Gustafson, E.J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of art? *Ecosystems*, 1, 143-156
- Haboudane, D., John, R., Millera, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P.J., & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81, 416-426
- 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
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., & Black, W.C. (1998). *Multivariate data analysis. Fifth Edition*: Prentice-Hall International, Inc.
- Hargis, C.D., Bissonette, J.A., & David, J.L. (1998). The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology*, 13, 167-186
- Hatfield, J.L., Asrar, G., & Kanemasu, E.T. (1984). Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 14, 65-75
- He, Y., Guo, X., & Si, B.C. (2007). Detecting grassland spatial variation by wavelet approach. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 1527-1545
- Hill, J., Stellmes, M., Udelhoven, T., Roder, A., & Sommer, S. (2008). Mediterranean desertification and land degradation. Mapping related land use change syndromes on satellite observations. *Global and Planetary Change*, 64, 146-157
- Holben, B.N. (1986). Characteristics of maximum value composite images for temporal AVRRH data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1435-1445

- Honrado, J.J.P. (2003). Flora e Vegetação do Parque Nacional da Peneda-Gerês. Dissertação de Doutoramento. In, *Faculdade de Ciências. Departamento de Botânica* (pp. 374 – 409; 623 – 658). Porto: Universidade do Porto
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295–309
- Huete, A., Justice, C., & Liu, H. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49
- Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., & Leeuwen, W.J.D.v. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195-213
- ICN (2000). Prados de feno pobres de baixa altitude (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*). Plano Sectorial da Rede Natura 2000. Habitats naturais. In: http://www.icn.pt/psrn2000/caracterizacao_valores_naturais/6510.pdf
- ICN (2006). Plano Sectorial da Rede Natura 2000. Habitats naturais. Relatório Final. In: Available on-line em www.icnb.pt/propfinal/_Vol.I-Relatório/
- ICNB (2008). Valoração da Biodiversidade. In A. Fontes (Ed.), *Revisão do Plano de Ordenamento do Parque Nacional da Peneda Gerês. Relatório de Síntese 1ª fase. Caracterização*: Instituto de Conservação da Natureza e da Biodiversidade. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional. Parque Nacional da Peneda Gerês
- Ihse, M., & Lindahl, C. (2000). A holistic model for landscape ecology in practice: the Swedish survey and management of ancient meadows and pastures. *Landscape and Urban Planning*, 50, 59-84
- Imbernon, J. (1999). Pattern and development of land-use changes in the Kenyan highlands since the 1950s. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 76, 67-73
- INE (1943a). *Arrolamento Geral do Gado 1943*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística
- INE (1943b). *Estatísticas Agrícolas*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística
- INE (1954). *Inquérito às Explorações Agrícolas do Continente. III-Províncias do Minho, Trás-os-Montes e Alto Douro*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística
- INE (1970a). *11º Recenseamento da População. 1º Recenseamento da Habitação*: Instituto Nacional de Estatística
- INE (1970b). *Estatísticas demográficas 1970*: Instituto Nacional de Estatística
- INE (1972). *Arrolamento Geral do Gado 1972*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística
- INE (1979). *Recenseamento agrícola do continente*: Instituto Nacional de Estatística
- INE (1984). *Estatísticas demográficas 1984*: Instituto Nacional de Estatística
- INE (2001). *Recenseamentos Gerais da Agricultura. Dados comparativos 1989-1999*: Instituto Nacional de Estatística
- INE (2002). *Estatísticas demográficas 2000. XIV Recenseamento da População*: Instituto Nacional de Estatística

- INMG (1965). *O Clima de Portugal. Fascículo XIII. Normais climatológicas do Continente, Açores e Madeira correspondentes a 1931 – 1960*. Lisboa: INMG
- INMG (1991). *O Clima de Portugal. Fascículo XLIX. Normais climatológicas da região de Trás-os-Montes e Alto Douro e Beira Interior correspondentes a 1951-1980*. Lisboa: INMG
- Jomaa, I., Audab, Y., Saleh, B.A., Saleh, B.A., & Safie, S. (2008). Landscape spatial dynamics over 38 years under natural and anthropogenic pressures in Mount Lebanon. *Landscape and Urban Planning*, 87, 67-75
- Jones, K.B., Edmonds, C.E., Slonecker, E.T., Wickham, J.D., Neale, A.C., Wade, T.G., Riitters, K.H., & Kepner, W.G. (2008). Detecting changes in riparian habitat conditions based on patterns of greenness change: A case study from the Upper San Pedro River Basin, USA. *Ecological Indicators*, 8, 89-99
- Jordan, C.F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50, 663- 666
- Julien, Y., & Sobrino, J.A. (2009). The Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method: An analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters. *Remote Sensing of Environment*, 113, 329-334
- Julien, Y., Sobrino, J.A., & Verhoef, W. (2006). Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999. *Remote Sensing of Environment*, 103, 43-55
- Kaufman, Y.J., & Tanre, D. (1992). Atmospherically resistant vegetation index (ARVI). *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 30, 261- 270
- Kong, W., Sun, O.J., Xu, W., & Chen, Y. (2009). Changes in vegetation and landscape patterns with altered river water-flow in arid West China. *Journal of Arid Environments*, 73, 306-313
- Kumm, K.-I. (2003). Sustainable management of Swedish seminatural pastures with high species diversity. *Journal for Nature Conservation*, 11, 117-125
- Kustas, W.P., Norman, J.M., Schmugge, T.J., & Anderson, M.C. (2004). Mapping surface energy fluxes with radiometric temperature. Chapter 7. In D. Quattrochi & J. Luvall (Eds.), *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*. (pp. 205-253). Florida, USA: CRC Press Boca Raton
- Lasanta, T., González-Hidalgo, J.C., Vicente-Serrano, S.M., & Sfrei, E. (2006). Using landscape ecology to evaluate an alternative management scenario in abandoned Mediterranean mountain areas. *Landscape and Urban Planning*, 78, 101-114
- Lausch, A., & Herzog, H. (2002). Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*, 2, 3-15
- Lavalle, C., Micale, F., Houston, T.D., Camia, A., Hiederer, R., Lazar, C., Conte, C., Amatulli, G., & Genovese, G. (2009). Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 433-446
- Leibundgut, C. (2004). Historical meadow irrigation in Europe - a basis for agricultural development. In *The Basis of Civilization - Water Science? UNESCO/IAHS/IWHA symposium* (pp. 77-87). Rome: IAHS Publ. 286

- Leica (2006). ERDAS IMAGINE 9.1. In: Copyright 1991-2006 by Leica Geosystems Geospatial, LLC
- Leitão, A.B., & Ahern, J. (2002). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59, 65-93
- Levene, H. (1960). Contributions to Probability and Statistics. In I. Olkin (Ed.), *Essays in Honor of Harold Hotelling* (pp. 278-292): Stanford University Press
- Lindborg, R., Bengtsson, J., Berg, A., Cousins, S.A.O., Eriksson, O., Gustafsson, T., Hasund, K.P., Lenoir, L., Pihlgren, A., Sjodin, E., & Stenseke, M. (2008). A landscape perspective on conservation of semi-natural grasslands. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 125, 213-222
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 823-870
- Lucas, R., Rowlands, A., Brown, A., Keyworth, S., & Bunting, P. (2007). Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 62, 165-185
- Lunetta, R.S., Ediriwickrema, J., Johnson, D.M., Lyon, J.G., & McKerrow, A. (2002). Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA. *Remote Sensing of Environment*, 82, 258-270
- MacDonald, D., Crabtree, J.R., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P., Lazpita, J.G., & Gibon, A. (2000). Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management*, 59, 47-69
- Maia, F.S. (2007). Aplicação da detecção remota à análise da paisagem: caso do Parque Nacional da Peneda Gerês. Dissertação de Mestrado. In, *Faculdade de Ciências. Departamento de Matemática Aplicada* (p. 147). Porto: Universidade do Porto
- Mankolli, H., (Jazehhiu), V.P., & Asllani, A. (2008). Contribution towards identification of climate changes aspects in Albania. In BALWOIS (Ed.), *Conference on water observation and information system for decision support. BALWOIS 2008*. Ohrid, Republic of Macedonia
- Marçal, A.R.S., Borges, J.S., Gomes, J.A., & Costa, J.F.P.d. (2005). Land cover update by supervised classification of segmented ASTER images. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 1347-1362
- Marques, J. (1998). Os municípios transmontanos nos séculos XII-XIV. Alguns aspectos. In, *Seminário Internacional "O Município no Mundo Português"* (pp. 7-36). Funchal: Centro de Estudos da História do Atlântico. Secretaria Regional do Turismo e da Cultura
- Martínez, B., & Gilabert, M.A. (2009). Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1823-1842
- Maselli, F., Gilabert, M.A., & Conese, C. (1998). Integration of high and low resolution NDVI data for monitoring vegetation in Mediterranean environments. *Remote Sensing of Environment*, 63, 208-218
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (2001). *História das agriculturas do mundo. Do Neolítico à crise contemporânea*. Lisboa: Instituto Piaget

- McGarigal, K., & Marks, B.J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*: Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis
- MCPFE (2003). Vienna resolution 3. Preserving and enhancing the social and cultural dimensions of sustainable forest management in Europe. In MCPFE (Ed.), *Fourth Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe* Vienna, Austria
- Mendes, J.M.A. (1981). *Trás-os-Montes nos fins do século XVIII segundo um manuscrito de 1796*. Coimbra: Instituto Nacional de Investigação Científica/Centro de História da Sociedade e Cultura da Universidade de Coimbra
- Mitchell, W.P. (1976). Irrigation and Community in the Central Peruvian Highlands. *American Anthropologist*, 78, 25-44
- Moreira, N., Aguiar, C., & Pires, J.M. (2001). *Lameiros e outros prados e pastagens de elevado valor florístico. Pastagens de Montanha*. Lisboa: Direção Geral de Desenvolvimento Rural
- Moser, D., Zechmeister, H.G., Plutzer, C., Sauberer, N., T. Wrbka, & Grabherr, G. (2002). Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes. *Landscape Ecology*, 17, 657-669
- Mottet, A., Ladet, S., Coqué, N., & Gibon, A. (2006). Agricultural land-use change and its drivers in mountains landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 114, 296-310
- Nagaraj, N. (1999). Institutional management regimes for pricing of irrigation water: the French model - lessons for India. *Agricultural Systems*, 61, 191-205
- Nagler, P.L., Cleverly, J., Glenn, E., Lampkin, D., Huete, A., & Wan, Z. (2005). Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation indices and meteorological data. *Remote Sensing of Environment*, 94, 17-30
- Narumalani, S., Mishra, D.R., & Rothwell, R.G. (2004). Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sensing of Environment*, 91, 478-489
- Neale, C.M.U., Jayanthi, H., & Wright, J.L. (2005). Irrigation Water Management Using High Resolution Airborne Remote Sensing. *Irrigation and Drainage Systems*, 19, 321-336
- Nemani, R.R., & Running, S.W. (1997). Land cover characterization using multi-temporal red, near-infrared and thermal-IR data from NOAA-AVHRR. *Ecological Applications*, 7, 79-90
- Néry, F. (2002). *Nomenclatura CORINE Land Cover: versão portuguesa comentada*. Lisboa: Instituto Geográfico Português
- Norderhaug, A., Ihse, M., & Pedersen, O. (2000). Biotope patterns and abundance of meadow plant species in a Norwegian rural landscape. *Landscape Ecology*, 15, 201 – 218
- O'Rourke, E. (2006). Changes in agriculture and the environment in an upland region of the Massif Central, France. *Environmental Science & Policy*, 9, 370-375
- Olmedo, N., & Chipana, R. (2008). Gestión del riego tradicional en la zona circundante al Nevado Illampu. In E. Ruz & L.S.Pereira (Eds.), *Modernización de riegos y uso de*

tecnologías de información (Taller International) (pp. CD-ROM paper 2.7). La Paz, Bolivia: PROCISUR, IICA and CYTED, Montevideo

- Olsson, E.G.A., Austrheim, G., & Grenne, S.N. (2000). Landscape change patterns in mountain, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960 – 1993. *Landscape Ecology*, 15, 155 – 170
- Painho, M., & Caetano, M. (Eds.) (2006). *Cartografia de ocupação do solo: Portugal continental, 1985-2000, Corine land cover 2000*. Amadora: Instituto do Ambiente
- Payero, J.O., Neale, C.M.U., & Wright, J.L. (2004). Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass. *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 385-393
- PCI_Geomatics (2001). Geomatica v.8.2. In. Ontario, Canada: Copyright © PCI Geomatics
- Pelorusso, R., Leone, A., & Boccia, L. (2009). Land cover and land use change in the Italian central Apennines: A comparison of assessment methods. *Applied Geography*, 29, 35-48
- Peng, J., Wangb, Y., Zhang, Y., Wu, J., Li, W., & Li, Y. (2009). Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, In press
- Pereira, L.S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Lisboa: Publ. Europa-América
- Pereira, L.S., & Sousa, V.S. (2006). Lameiros e prados de lima. In E. Abraham & A.F. Cirelli (Eds.), *Evaluación de los Usos del Agua en Tierras Secas de Iberoamerica*. (pp. 191-202). Mendoza: CYTED e Inst. Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas
- Perrier, A. (1982). Land Surface Processes: Vegetation. In P. Eagleson (Ed.), *Land Surface Processes in Atmospheric General Circulation Models* (pp. 395-448): Cambridge Univ. Press.
- Petrov, A.N., & Sugumaran, R. (2009). Quantifying spatiotemporal dynamics of agricultural landscapes using remotely sensed data and landscape metrics. *Geocarto International*, 24, 223 – 240
- Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C.J., & Stenseth, N.C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 503-510
- Phillips, L.B., Hansen, A.J., & Flather, C.H. (2008). Evaluating the species energy relationship with the newest measures of ecosystem energy: NDVI versus MODIS primary production. *Remote Sensing of Environment*, 112, 4381-4392
- Piao, S., Mohammat, A., Fang, J., Cai, Q., & Feng, J. (2006). NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its response to climate change in China. *Global Environmental Change*, 16, 340-348
- Pignatti, S., Cavalli, R.M., Cuomo, V., Fusilli, L., Pascucci, S., poscolieri, M., & Santini, F. (2009). Evaluating Hyperion capability for land cover mapping in a fragmented ecosystem: Pollino National Park, Italy. *Remote Sensing of Environment*, 113, 622-634
- Pikälä, J. (2005). Plant species responses to cattle grazing in mesic semi-natural grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108, 109 - 117
- Pinto-Correia, T., & Vos, W. (2004). Multifunctionality in Mediterranean landscapes – past and future. In R.H.G. Jongman (Ed.), *The new dimensions of the European landscape* (pp. 135-164): Wageningen FRONTIS Series, Springer

- Pires, J.M., Centeno, M.S.L., Rego, F.C., Raposo, J.A., & de Carvalho, M.J.R. (1990). Efeito da fertilização na composição florística de lameiros. *Pastagens e Forragens*, 11, 69 – 86
- Pires, J.M., Pinto, P.A., & Moreira, N.T. (1994). *Lameiros de Trás-os-Montes. Perspectivas de futuro para estas pastagens de montanha*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança
- Pires, J.M., Fernandes, A., Bernardo, A., Pires, J., & Moreira, N. (2003). Meadow management hay yields and nutritive value in the mediterranean mountain regions of Northeast of Portugal. In *Sustainable grazing, nutritional utilization and quality of sheep and goat products. First Joint Seminar of the FAO-CIHEAM Sheep and Goat Nutrition and Mountain and Mediterranean Pastures Sub-Networks* (pp. 67-73). Granada (Espanha)
- Planchon, O., Dubreuil, V., Bernard, V., & Blain, S. (2008). Contribution of tree-ring analysis to the study of droughts in northwestern France (XIX–XXth century). *Climate of the Past Discussions*, 4, 249-270
- Pôças, I., Cunha, M., Marçal, A.R.S., & Pereira, L.S. (2009a). Remote Sensing Monitoring to Preserve Semi-Natural Mountain Meadows Landscapes. In D. Maktav (Ed.), *Remote Sensing for a Changing Europe. 28th Symposium of EARSeL* (pp. 102-108). Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey: IOS Press
- Pôças, I., Cunha, M., & Pereira, L.S. (2009b). Los Lameiros, pastizales seminaturales de regadio de montaña: sistemas ancestrales en el paisaje rural portugués del siglo XXI. In T. Saldaña Martínez, J. Palerme, M. Castro & L.S. Pereira (Eds.), *Riegos Ancestrales de Iberoamerica. Técnicas y Organización Social del Pequeño Riego* (pp. 27-40). Mexico D.F. : Colegio de Postgraduados e Mundi Prensa México
- Portela, J. (1996). Regadios Tradicionais de Trás-os-Montes. In J.P. Brito & e. al (Eds.), *O Voo do Arado* (pp. 371 – 383). Lisboa: Museu Nacional de Etnologia
- Price, K.P., Crooks, T.J., & Martinko, E.A. (2001). Grasslands across time and scale: a remote sensing perspective. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67, 414-420
- Price, K.P., Guo, X., & Stiles, J.M. (2002). Optimal Landsat TM band combinations and vegetation indices for discrimination of six grassland types in eastern Kansas. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 5031-5042
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48, 119–126
- Rametsteiner, E., & Mayer, P. (2004). Sustainable forest management and Pan-European forest policy. *Ecological Bulletins*, 51, 51-57
- Raposo, J.A., Centeno, M.S.L., Pires, J.M., & de Carvalho, M.J.R. (1990a). Efeito da fertilização na produção de lameiros. I – Região Planáltica de Bragança. *Pastagens e Forragens*, 11, 41 – 53
- Raposo, J.A., Centeno, M.S.L., Pires, J.M., & de Carvalho, M.J.R. (1990b). Efeito da fertilização na produção de lameiros. II – Região da Serra da Falperra *Pastagens e Forragens* 11, 55 – 60
- Reynard, E. (2002). Hill irrigation in Valais (Swiss Alps). Recent evolution of common-property corporations. In P. Pradhan & U. Gautam (Eds.), *Farmer Managed Irrigation Systems in the Changed Context. Second International Seminar* (pp. 343-361). Kathmandu, Nepal: Farmer Managed Irrigation System Promotion Trust

- Richards, J.A., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. Fourth Edition*: Springer
- Rodrigues, O. (1996). A mudança do espaço rural em zonas marginais: o caso da Terra Fria Transmontana. In J.P. Brito & al (Eds.), *O voo do arado* (pp. 385 – 395). Lisboa
- Rogan, J., Franklin, J., Stow, D., Miller, J., Woodcock, C., & Roberts, D. (2008). Mapping land-cover modifications over large areas: A comparison of machine learning algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2272-2283
- Roldán, J., Chipana, R., Moreno, M.F., Pino, J.L., Bosque, H., Céspedes, R., Palácios, A., & Irahola, M. (2008). Una aproximación a las tecnologías ancestrales de riego andino en Bolivia. In E. Ruz & L.S.Pereira (Eds.), *Modernización de riegos y uso de tecnologías de información* (pp. CD-ROM paper 2.3). La Paz, Bolivia: PROCISUR, IICA and CYTED, Montevideo
- Roujean, J.L., & Breon, F.M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51, 375–384
- Rouse, W., Haas, R., Scheel, J., & Deering, W. (1973). Monitoring vegetation systems in Great Plains with ERST. In *Proceedings of the Third ERTS Symposium, NASA SP-351* (pp. 309-317). Washington, DC: US Government printing office
- Ruf, T. (2001). Droits d'eau et institutions communautaires dans les Pyrenees-Orientales. Les tenancies des canaux de Prades (xive-xxe siècle). *Histoire & Sociétés Rurales*, 16, 11-44
- Sala, O.E., Austin, A.T., & Vivanco, L. (2001). Temperate grasslands and shrublands ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*, 5, 627-635
- Salazar, L., Kogan, F., & Roytman, L. (2008). Using vegetation health indices and partial least squares method for estimation of corn yield. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 175-189
- Sánchez, J.M., Scavone, G., Caselles, V., Valor, E., Copertino, V.A., & Telesca, V. (2008). Monitoring daily evapotranspiration at a regional scale from Landsat-TM and ETM+ data: Application to the Basilicata region. *Journal of Hidrology*, 351, 58-70
- Sankey, T.T., Moffet, C., & Weber, K. (2008). Postfire Recovery of Sagebrush Communities: Assessment Using Spot-5 and Very Large-Scale Aerial Imagery. *Rangeland Ecology & Management*, 61, 598-604
- Santos, J.M.L. (1992). *Mercado, Economias e Ecossistemas no Alto Barroso. Montalegre*: Câmara Municipal de Montalegre
- Santos, J.M.L. (1995). Relatório de Investigação: Práticas pastoris, cargas pecuárias e aspectos organizativos do pastoreio: o monte de Pitões (Relatório final). In Lisboa: Departamento de Economia Agrária e Sociologia Rural. Instituto Superior de Agronomia
- Santos, J.M.L. (2000). Nature and landscape conservation benefits. The case of agri-environmental public intervention in the EU. In A.P. Blanco & M.X.V. Rodríguez (Eds.), *Economía Ambiental e Sociedade* (pp. 259-295). Santiago de Compostela: Consello da Cultura Galega
- Sarwar, A., & Bill, R. (2007). Mapping evapotranspiration in the Indus Basin using ASTER data. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 5037-5046
- SAS (1997). JMP vs. 3.2.2. In: Copyright © 1997 SAS Institute Inc

- Sawaya, K.E., Olmanson, L.G., Heinert, N.J., Brezonik, P.L., & Bauer, M.E. (2003). Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resources monitoring using high-resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 88, 144-156
- Schellberg, S. (2005). Meadow irrigation in the federal state Baden Wurttemberg. Portrayal of a nearly forgotten land use system. In, *Irrigated Land and Water Management in History. Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft* (pp. 123-132): Sonderband
- Serra, P., Pons, X., & Sauri, D. (2008). Land-cover and land-use change in Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 28, 189-209
- Sesnie, S.E., Gessler, P.E., Finegan, B., & Thessler, S. (2008). Integrating Landsat TM and SRTM-DEM derived variables with decision trees for habitat classification and change detection in complex neotropical environments. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2145-2159
- Shivakoti, G.P., & Bastakoti, R.C. (2006). The robustness of Montane irrigation systems of Thailand in a dynamic human-water resources interface. *Journal of Institutional Economics*, 2, 227-247
- Short, C. (2008). The traditional commons of England and Wales in the twenty-first century: meeting new and old challenges. *International Journal of the Commons*, 2, 192-221
- Short, N.M. (2009). Remote sensing tutorial. In. available online at <http://rst.gsfc.nasa.gov/>: NASA
- Smith, R.B. (2008). *Italian irrigation: A report on the agricultural canals of Piedmont and Lombardy*: BiblioBazaar
- Soliva, R. (2007). Landscape stories: Using ideal type narrative as a heuristic device in rural studies. *Journal of Rural Studies*, 23, 62-74
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P., & Macomber, S.A. (2001). Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing of Environment*, 75, 230-244
- Soudani, K., Maire, G.I., Dufrêne, E., François, C., Delpierre, N., Ulrich, E., & Cecchini, S. (2008). Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2643-2655
- Squeo, F.A., Warner, B.G., Aravena, R., & Espinoza, D. (2006). Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79, 245-255
- Sundell-Turner, N.M., & Rodewald, A.D. (2008). A comparison of landscape metrics for conservation planning. *Landscape and Urban Planning*, 86, 219-225
- Taborda, V. (1932). Alto Trás-os-Montes: Estudo Geográfico. Dissertação de Doutorado. In. Coimbra: Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra
- Tao, F., Yokozawa, Z., Zhang, H., & Yishigooka, Y. (2008). Land surface phenology dynamics and climate variations in the North East China Transect (NECT), 1982-2000. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 5461-5478
- Tasumi, M. (2003). Progress in Operational Estimation of Regional Evapotranspiration Using Satellite Imagery. Ph.D. Dissertation. In. Moscow, ID, USA: University of Idaho

- Tasumi, M., & Allen, R.G. (2007). Satellite-based ET mapping to assess variation in ET with timing of crop development. *Agricultural Water Management*, 88, 54-62
- Teles, A.N. (1970). *Os lameiros de montanha do norte de Portugal. Subsídios para a sua caracterização fitossociológica e química: Agronomia Lusitana – Vol. XXXI*
- Telesca, L., & Lasaponara, R. (2006). Quantifying intra-annual persistent behaviour in SPOT-VEGETATION NDVI data for Mediterranean ecosystems of southern Italy. *Remote Sensing of Environment*, 101, 95-103
- Telesca, L., Lasaponara, R., & Lanorte, A. (2008). Intra-annual dynamical persistent mechanisms in mediterranean ecosystems revealed SPOT-VEGETATION time series. *Ecological Complexity*, 5, 151-156
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 55-94
- Timmermans, W.J., Kustas, W.P., Anderson, M.C., & French, A.N. (2007). An intercomparison of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and the Two-Source Energy Balance (TSEB) modeling schemes. *Remote Sensing of Environment*, 108, 369-384
- Turc, L. (1961). Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle: formule climatique simplifiée et mise à jour (ETP, f60). *Ann Agron (Paris)*, 12, 13-49
- Turner, M.G., Gardner, R.H., & O'Neill, R.V. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. New York: Springer
- UNESCO-FAO (1963). *Carta bioclimática de la zona mediterránea*: UNESCO-FAO
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., & Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114, 106-115
- Verstraeten, W.W., Veroustraete, F., & Feyen, J. (2008). Assessment of Evapotranspiration and Soil Moisture Content Across Different Scales of Observation. *Sensors*, 8, 70-117
- Vieira, J., Fernandes, A., Bernardo, A., Martins, V., & Moreira, N. (2000a). Os lameiros e a sustentabilidade dos sistemas de produção agro-pecuários de montanha em Trás-os-Montes In, *II Congresso de Estudos Rurais. Periferias e espaços rurais*. Angra do Heroísmo – Açores
- Vieira, J., Gonçalves, S., Sanches, D., Bernardo, A., & Moreira, N. (2000b). Sustentabilidade dos lameiros e do sistema de agricultura de montanha do Norte de Portugal. II – Lameiros. In, *Actas da 3ª Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens* (pp. 737-742). Bragança-A Coruña-Lugo
- VITO (2008). Free VEGETATION Products. In, Available online at <http://free.vgt.vito.be/>
- Vivas, G., Mateos, L., Giraldez, J.V., & González-Dugo, M.P. (2009). Nuevas tecnologías para el estudio de los regadíos ancestrales de la cuenca del río Poqueira, comarca de la Alpujarra, España. In T. Martínéz, J. Palerm, M. Castro & L.S. Pereira (Eds.), *Riegos Ancestrales de Iberoamerica* (pp. 217-235 (In press)): Editorial Mundiprensa, Barcelona, and Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Mexico
- Walsh, S.J., Crawford, T.W., Welsh, W.F., & Crews-Meyer, J.A. (2001). A multiscale analysis of LULC and NDVI variation in Nang Rong district, northeast Thailand. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 85, 47-64

- Wang, F.-m., Jing-feng, H., Yan-lin, T., & Xiu-zhen, W. (2007). New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice. *Rice Science*, 14, 195-203
- Wiegand, C.L., Richardson, A.J., Escobar, D.E., & H.Gerbermann, A. (1991). Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment*, 35, 105–119
- Wilson, K.B., & Baldocchi, D.D. (2000). Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaved temperate deciduous forest in North America. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100, 1-18
- Wu, J.-X., Cheng, X., Xiao, H.-S., Wang, H., Yang, L.-Z., & Ellis, E.C. (2009). Agricultural landscape change in China's Yangtze Delta, 1942–2002: A case study. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 129, 523-533
- Xiao, X., Hagen, S., Zhang, Q., Keller, M., & III, B.M. (2006). Detecting leaf phenology of seasonally moist tropical forests in South America with multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 103, 465-473
- Xiao, X., Zhang, Q., Braswell, B., Urbanski, S., Boles, S., Wofsy, S., III, B.M., & Ojima, D. (2004). Modeling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 91, 256-270
- Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 1, 9-23
- Yu, F., Price, K.P., Ellis, J., & Shi, P. (2003). Response of seasonal vegetation development to climatic variations in central Asia. *Remote Sensing of Environment*, 87, 42-54
- Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Mohammed, G.H., Noland, T.L., & Sampson, P.H. (2001). Scaling-up and model inversion methods with narrow-band optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, 1491- 1507
- Zarco-Tejada, P.J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J.R., Martín, P., Cachorro, V., González, M.R., & Frutos, A.d. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99, 271-287
- Zeng, H., & Wu, X.B. (2005). Utilities of edge-based metrics for studying landscape fragmentation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 159-178
- Zhang, J., Hu, Y., Xiao, X., Chen, P., Han, S., Song, G., & Yu, G. (2009a). Satellite-based of evapotranspiration of an old-growth temperate mixed forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 976-984
- Zhang, J., Wei, J., & Chen, Q. (2009b). Mapping the Farming-pastoral Ecotones in China. *Journal of Mountain Science*, 6, 78-87
- Zhang, X., Sun, R., & Tong, B.Z.Q. (2008). Land cover classification of the North China Plain using MODIS_EVI time series. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 63, 476-484
- Zhou, H., Rompaye, A.V., & Wang, J.a. (2009). Detecting the impact of the "Grain for Green" program on the mean annual vegetation cover in the Shaanxi province, China using SPOT-VGT NDVI data. *Land Use Policy*, 26, 954-960
- Zomeni, M., Tzanopoulos, J., & Pantis, J.D. (2008). Historical analysis of landscape change using remote sensing techniques: An explanatory tool for agricultural transformation in Greek rural areas. *Landscape and Urban Planning*, 86, 38-46

ANEXOS

ANEXO 1

Quadro A.1 - Principais agrupamentos florísticos dos lameiros

- Ordem *Arrhenatheretalia* Pawl., 1928. Inclui prados secos a húmidos (mesófilos e meso-higrófilos) dominados por gramíneas e típicos de solos ricos e bem drenados (Honrado (2003), unicamente ceifados ou pastados, ou ainda submetidos a um regime misto e usualmente fertilizados (Teles, 1970). A qualidade destes prados em Portugal é devida à rega impregnada de chorume e de partículas de estrume, ou à localização próxima de instalações agrícolas, promovendo um enriquecimento em compostos azotados.
 - Aliança *Cynosurion cristati* Tx., 1947. Prados exclusivamente pastados ou submetidos a regime misto (ceifados e pastados) (Teles, 1963 e 1966b, cit. Teles, 1970), típicos de solos húmidos e ricos em nutrientes (Honrado, 2003).
 - Associação *Anthemido-Cynosuretum* Teles (1963) 1966. Incluiu lameiros de regadio, raramente de secadal, moderadamente húmidos e pobres, destinados a pasto e à produção de feno (lameiros de feno). Ocorre nas áreas montanhosas do Montemuro, do Leomil, do Alvão e do Barroso – carácter subatlântico (Teles, 1963 e 1966b, cit. Teles, 1970).
 - Associação *Bromo-Cynosuretum* Teles (1963) 1966. Engloba lameiros de regadio e de secadal, secos a húmidos, destinados a pasto e à produção de feno e ainda à produção de erva. Ocorre no Nordeste de Portugal, nas áreas planálticas de Vinhais, Bragança, Vimioso, Figueira de Castelo Rodrigo e Vilar Formoso – carácter subcontinental (Teles, 1963 e 1966b, cit. Teles, 1970).
 - Aliança *Arrhenatherion elatioris* W. Koch 1926. Prados de distribuição atlântica e centro-europeia, apenas ceifados. De acordo com Teles (1970) são pouco frequentes no nosso País porque o tipo de aproveitamento que os favorece – regime exclusivo de ceifa – é raramente praticado. É notória a pobreza em características desta aliança; a abundância-dominância é essencialmente compartilhada pelas espécies *Arrhenatherion elatioris* ssp. *bulbosum* e *Lolium perene* (ótima forrageira). Apenas se encontraram alguns prados com vegetação típica desta aliança nas Serras de Leomil e do Alvão, no Barroso e em Vinhais (Teles, 1970).
 - Associação *Agrostio-Arrhenatheretum bulbosi* Teles (1963) 1966. Inclui lameiros secos a moderadamente húmidos, explorados para pastoreio associado a pastoreio efémero (Teles, 1970). Considerada pobre em espécies de valor sociológico relevante (Teles, 1970).
- Ordem *Molinietalia* W. Koch 1946. Integra prados, juncais e pastagens de carácter temperado, típicos de solos permanentemente húmidos (Honrado, 2003). Em Portugal, a exploração destes prados relativamente aos da ordem *Arrhenatheretalia*, difere pelo seu carácter mais extensivo, consequência do encharcamento permanente ou quase permanente (Teles, 1970).
 - Aliança *Juncion acutiflori* Br.-Bl. 1947. inclui os prados muito húmidos, acidófilos, de distribuição atlântica, apenas ceifados ou ceifados e pastados (Teles, 1970) e geralmente não estrumados (Honrado, 2003).
 - Associação *Peucedano-Juncetum acutiflori* Teles (1963) 1966. Engloba os lameiros húmidos a muito húmidos, por vezes até subpantanosos.
 - Associação *Hyperico-Juncetum acutiflori* Teles (1963) 1966. Integra os lameiros muito húmidos, pobres, em que dominam, normalmente, *Juncus acutiflorus* ou *Juncus effusus*. Observada em Vinhais, Bragança e Vimioso. Comparativamente à outra associação revela um decréscimo das espécies atlânticas e um ligeiro acréscimo das espécies mediterrânicas.
- Agrupamento de *Ranunculus repens* e *Lolium perenne*, no qual se incluem lameiros destinados à produção de erva, observados na região do Barroso, próximos de instalações agrícolas. Estes lameiros apresentam um razoável fundo de fertilidade, pelo facto de serem regados com água rica em nutrientes e porque são ocasionalmente estrumados. De acordo com Teles (1970), a sua composição florística faz antever a possibilidade do seu enquadramento na classe *Molinio Arrhenatheretea*: a sua posição sistemática contacta com a variante de *Ranunculus repens*, da Subassociação de *Ranunculus flammula* e *Caltha palustris*, pertencente à associação *Peucedano-Juncetum acutiflori*; também apresenta uma certa afinidade com os lameiros de erva incluídos na associação *Bromo-Cynosuretum* subassociação de *Ranunculus repens* e *Lolium perenne*, embora o regime de exploração seja aqui ligeiramente diferente do observado no Barroso (já que são ceifados mais espaçadamente).

ANEXO 2

Quadro A.2 - Composição florística em lameiros com distintos regimes hídricos e regimes de aproveitamento (adaptado de Moreira *et al.*, 2001)

Tipos de Lameiros	Espécies frequentes	Observações
Lameiros de regadio	<i>Holcus lanatus</i> <i>Plantago lanceolata</i> <i>Cynosurus cristatus</i> <i>Hypochaeris radicata</i> <i>Poa trivialis</i> <i>Dactylis gomerata</i> <i>Trifolium pratense</i> <i>Trifolium repens</i>	
Lameiros de regadio imperfeito	Composição florística próxima de lameiros de regadio ou de secadal, conforme a maior ou menor disponibilidade de água	
Lameiros de sequeiro	<i>Agrostis castellana</i> <i>Agrostis x fouilladei</i> <i>Trifolium dubium</i> <i>Gaudinia fragilis</i> <i>Arrhenatherum elatius</i> subsp. <i>bulbosum</i>	
Lameiros de pasto	<i>Rumex crispus</i> <i>Rumex obtusifolius</i> <i>Rumex conglomeratus</i> <i>Mentha suaveolens</i> <i>Brachypodium rupestre</i>	Abundam as espécies rejeitadas pelos animais
Lameiros de erva	<i>Lolium perene</i> ¹ <i>Dactylis glomerata</i> ¹ <i>Trifolium repens</i> ¹ <i>Trifolium pratense</i> ¹ <i>Holcus lanatus</i> <i>Ranunculus repens</i> <i>Plantago lanceolata</i> <i>Glyceria declinata</i>	Apresentam as maiores quantidades de plantas de grande valor nutritivo

ANEXO 3

Quadro A.3 - Produção, composição química e valor alimentar da vegetação de lameiros (adaptado de Teles, 1970)

Associação	<i>Anthemido-Cynosuretum</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção global média, em verde e em feno, maior nos lameiros incluídos na subassociação típica; ▪ Produção de feno maior no grupo das gramíneas, quando comparada com a dos grupos das leguminosas, juncáceas, ciperáceas e diversas; ▪ Valor alimentar bastante baixo para todas as variantes desta associação (embora as variantes da subassociação típica apresentem uma qualidade um pouco superior devido aos valores da relação nutritiva); ▪ Grupos das Juncáceas e Ciperáceas apresentam pior qualidade; ▪ Leguminosas apresentam teores de proteína bruta superiores aos das Gramíneas, sucedendo o inverso no respeitante à celulose bruta;
	<i>Bromo- Cynosuretum</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção global média, em verde e em feno, bastante variável; ▪ Produção dos diferentes grupos de plantas revela um predomínio nítido das Gramíneas; ▪ Leguminosas apresentam a melhor composição química, seguindo-se-lhe as Diversas, as Gramíneas e finalmente as Juncáceas e Ciperáceas; ▪ Lameiros de melhor qualidade incluem-se na subassociação de <i>Ranunculus repens</i> e <i>Lolium perene</i> e a subassociação <i>Lepidium heterophyllum</i> (à excepção da variante <i>Anthoxanthum aristatum</i>); ▪ Lameiros de pior qualidade encontram-se na subassociação <i>Juncus acutiflorus</i> e <i>Lepidium heterophyllum</i> variante de <i>Anthoxanthum aristatum</i>;
	<i>Agrosti-Arrhenatheretum bulbosi</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção global superior na subassociação <i>Ranunculus repens</i>; ▪ Melhor qualidade da vegetação verificou-se na subassociação <i>Ranunculus repens</i>; ▪ Composição química dos diversos grupos de plantas mostra acentuada pobreza dos grupos das Gramíneas e das Diversas;
	<i>Peucedano-Juncetum acutiflori</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maiores produções em verde e em feno na subassociação de <i>Ranunculus flammula</i> e <i>Caltha palustris</i> variantes <i>Ranunculus repens</i> e típica; ▪ Em termos de produção, a maior representação cabe ainda às Gramíneas, embora as Juncáceas e as Ciperáceas assumam grande relevância; Leguminosas praticamente ausentes; ▪ Lameiros bastante pobres nesta associação; ▪ Na subassociação de <i>Ranunculus flammula</i> e <i>Caltha palustris</i>, a presença destas 2 espécies, consideradas venenosas, em % elevadas de recobrimento, compromete a qualidade dos lameiros;
	<i>Hyperico-Juncetum acutiflori</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção global, em verde e em feno, superior na subassociação <i>Juncus effusus</i>; ▪ Predomínio evidente de Juncáceas e Ciperáceas; ▪ Quanto à composição química e ao valor alimentar, os lameiros menos pobres ocorrem na subassociação de <i>Trifolium repens</i> (face à percentagem média de recobrimento pelas espécies <i>Trifolium repens</i> (8,6%) e <i>Cynosurus cristatus</i> (6,7%), com elevado valor forrageiro);
Agrupamento <i>Ranunculus repens</i> e <i>Lolium perene</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Predominam as Juncáceas e Ciperáceas nas fâcies <i>Cyperus badius</i> e <i>Eleocharis palustris</i>, enquanto as Gramíneas predominam na fâcies típica; ▪ Os lameiros de melhor qualidade correspondem aos da fâcies típica e os de pior qualidade à fâcies de <i>Cyperus badius</i>. 	

ANEXO 4

Resultados de estudos de adubações em lameiros:

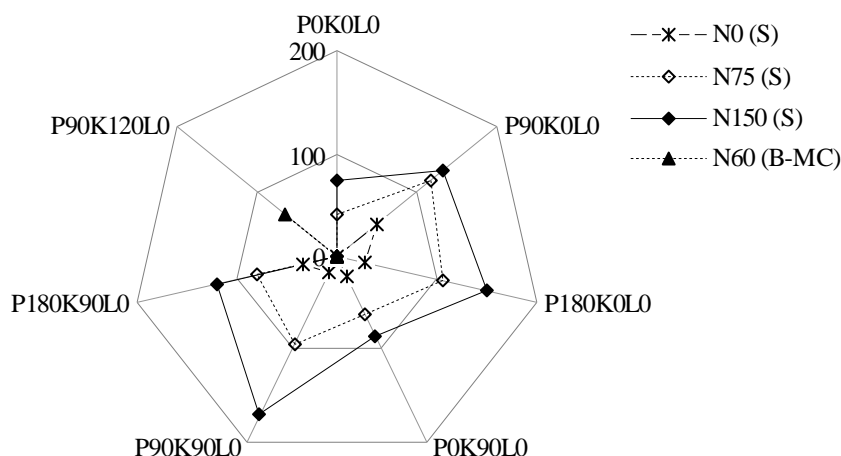


Figura A.1 – Evolução percentual de produção de matéria seca para diferentes combinações NPKL (azoto-fósforo-potássio-calcário), por comparação com uma situação de não fertilização (N0P0K0L0), em estudos realizados em Sortes (Bragança) – S – por um período de 4 anos (Raposo et al. 1990a), e em Bragança-Macedo de Cavaleiros – B-MC –, por um período de 2 anos (Ferreira et al. 1981). Níveis de fertilização considerados: i) N: 0 Kg; 60 Kg; 75 Kg; 150 Kg; ii) P: 0 Kg; 90 Kg; 180 Kg; iii) K: 0 Kg; 90 Kg; 120 Kg.

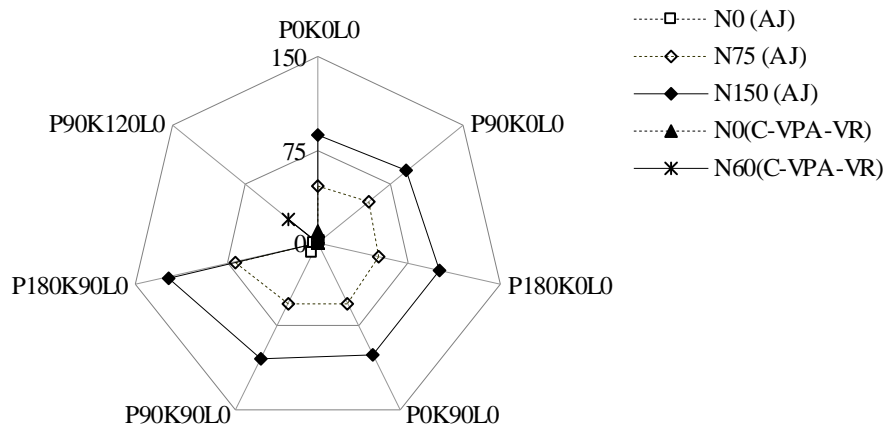


Figura A.2 – Evolução percentual de produção de matéria seca para diferentes combinações NPKL (azoto-fósforo-potássio-calcário), por comparação com uma situação de não fertilização (N0P0K0L0), em estudos realizados em Alfarela de Jales (Vila Pouca de Aguiar) – AJ (Raposo et al. 1990) e em Chaves – Vila Pouca de Aguiar – Vila Real – C-VPA-VR (Ferreira et al. 1981), por um período de 2 anos. Níveis de fertilização considerados: i) N: 0 Kg; 60 Kg; 75 Kg; 150 Kg; ii) P: 0 Kg; 90 Kg; 180 Kg; iii) K: 0 Kg; 90 Kg; 120 Kg.

Estudos realizados por Raposo et al. (1990) registaram as melhores produções de matéria seca (MS) para as combinações $N_{150}P_{90}K_{90}L_0$ e $N_{150}P_{180}K_0L_0$ – respectivamente com 8405 Kg ha^{-1} MS e 7720 Kg ha^{-1} MS, em Sortes – e $N_{150}P_{180}K_{90}L_0$ e $N_{150}P_{90}K_{90}L_0$ – respectivamente com 8201 Kg ha^{-1} MS e 7477 Kg ha^{-1} MS, em Alfarela de Jales (Figuras A.1 e A.2). O menor valor de produção de MS – 3105 Kg ha^{-1} MS – foi obtido para as parcelas sem qualquer fertilização.

Em estudos realizados em lameiros na zona das Serras de Montemuro e Caramulo, foi constatado que perante correcção da acidez e adubação fosfatada e potássica (25 a 100 Kg de P_2O_5 e 0 a 120 Kg de K_2O), as produções praticamente duplicaram relativamente às obtidas na testemunha – nos tratamentos sem fertilização registou-se uma média de 3107 Kg ha^{-1} e nos tratamentos com uma fertilização média de 5670 Kg ha^{-1} , oscilando entre 3143 Kg ha^{-1} e 7087 Kg ha^{-1} . Também o teor em leguminosas aumentou em 2.8% nos tratamentos com fertilização. Neste estudo, os valores de adubação azotada foram de 15 kg ha^{-1} e 20 Kg ha^{-1} , respectivamente no primeiro e segundo ano de estudo (<http://www.drabl.min-agricultura.pt>).

No que se refere à produção de proteína bruta (PB), Raposo et al. (1990) constataram que os valores mais elevados ocorreram para uma combinação de 150 Kg N e 180 Kg P em Alfarele de Jales (Figura A.3) – 1408 Kg ha^{-1} PB –, contra 440 Kg ha^{-1} PB em situação sem fertilização.

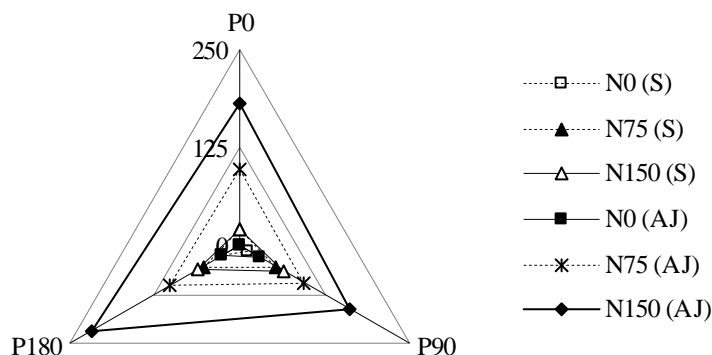


Figura A.3 – Evolução percentual de produção de proteína bruta para diferentes combinações NPK (azoto-fósforo), por comparação com uma situação de não fertilização (NOP0), em estudos realizados em Alfarela de Jales (Vila Pouca de Aguiar) – AJ (Raposo et al. 1990)

ANEXO 5

Quadro A.4 – Resumo de alguns dos principais índices de vegetação

Índices de vegetação	Formulação	Características	Autores
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$(\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED})$	Baseado no contraste entre a máxima absorção na banda do vermelho devido à clorofila e a máxima reflectância no infravermelho devido à estrutura celular da folha	(Rouse et al. 1973)
Simple Ratio Index (SR)	NIR/RED	Valores correspondentes a solo nu aproximam-se de 1; à medida que a quantidade de vegetação verde aumenta o índice aumenta também	(Jordan 1969; Rouse et al. 1973)
Greenness Vegetation Index (GVI)	R_{554}/R_{677}	Para estimar a radiação fotossinteticamente activa interceptada ao longo da estação de crescimento (trigo)	(Hatfield et al. 1984)
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$[(\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}+\text{L})] \times (1+\text{L})$	Derivado a partir do NDVI na tentativa de reduzir o efeito de fundo do solo nos dados espectrais, uma vez que as condições do solo produzem uma influência considerável em parte do espectro do copado e nos IV calculados	(Huete 1988)
Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)	$\text{NIR}/(\text{NIR}+\text{RED})$	Linearmente equivalente ao NDVI mas com uma amplitude de valores exclusivamente positivos	(Huete 1988)
Perpendicular vegetation index (PVI)	$[\text{NIR}-a_1(\text{RED})-a_0]/[1+(-a_1)^2]^{0.5}$	Assume que a reflectância no infravermelho próximo e no vermelho varia com o aumento da densidade da vegetação (tal como o índice de área foliar) e que essas variações são paralelas à base do solo. Aplicável para regiões áridas e semi-áridas	(Wiegand et al. 1991)
Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index (SARVI)	$(1+\text{L})(R_{800}-\text{Blue})/(R_{800}+\text{Blue}+\text{L})$	Minimiza os efeitos de fundo do copado e os efeitos atmosféricos	(Wiegand et al. 1991)
Photochemical Reflectance Index (PRI)	$\text{PRI1}=(R_{528}-R_{567})/(R_{528}+R_{567})$ $\text{PRI2}=(R_{531}-R_{570})/(R_{531}+R_{570})$ $\text{PRI3}=(R_{570}-R_{539})/(R_{570}+R_{539})$	Sensível à concentração de determinados pigmentos	(Gamon et al. 1992)
Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)	$(2\text{NIR}+1-[(2\text{NIR}+1)^2-8(\text{NIR}-\text{RED})]^{0.5})/2$	O valor da constante L (na equação do SAVI) é substituído por uma variável função L	(Qi et al. 1994)
Weighted Difference Vegetation Index (WDVI)	$\text{NIR}-a_1 \times \text{RED}$	Assume que a razão entre a reflectância do NIR e do solo nu é constante.	(Qi et al. 1994)
Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI)	$a_1[\text{NIR}-a_1(\text{RED})-a_0]/[\text{RED}+a_1(\text{NIR})-a_1.a_0]$	Modificação do SAVI para compensar a variabilidade do solo devida a alterações na elevação solar e na estrutura da canópia.	(Baret and Guyot 1991; Qi et al. 1994)
Enhanced Vegetation Index (EVI)	$G*(\text{NIR}-\text{Red})/(\text{L}+\text{NIR}+\text{C1}*\text{Red}+\text{C2}*\text{Blue})$	Desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, com sensibilidade melhorada para condições de elevada biomassa e com monitorização da vegetação melhorada através de um desagrupamento do sinal de fundo do copado e redução da influência da atmosfera	(Huete et al. 1994; Huete et al. 1997)
Difference Vegetation Index (DVI)	$\text{NIR}-\text{RED}$	Índice menos afectado pelo efeito de fundo do solo que o NDVI, especialmente para baixos LAI, mas mais afectado pelas propriedades espectrais e direccionais do copado do que o NDVI	(Roujean and Breon 1995)

(continua)

Quadro A.4 – Resumo de alguns dos principais índices de vegetação (continuação)

Índices de vegetação	Formulação	Características	Autores
Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$(NDVI \times DVI)^{0.5}$	Combina as vantagens do NDVI e do DVI	(Roujean and Breon 1995)
Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)	$(NIR-RED) / (NIR+RED)$	Inclui uma correcção para a dispersão molecular e absorção do ozono e uma função para corrigir a radiancia na banda do vermelho e estabilizar o índice para as variações temporais e espaciais no teor atmosférico de aerossóis	(Epiphany and Huete 1995)
Modified simple ratio (MSR)	$((NIR/RED)-1)/((NIR/RED)+1)$	Lineariza a sua relação com variáveis biofísicas da vegetação	(Chen 1996)
Modified chlorophyll absorption ratio index (MCARI)	$[(R_{700}-R_{670}) - 0.2 (R_{700} - R_{550})](R_{700}/R_{670})$	Possui elevado potencial para prever o LAI, embora não use bandas no NIR para o seu cálculo	(Daughtry et al. 2000)
Transformed chlorophyll absorption ratio index (TCARI)	$3[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})(R_{700}/R_{670})]$	Definido para compensar as variações nas características de reflectância de materiais de fundo (solo e componentes não-fotossintéticos) e para aumentar a sensibilidade em condições de baixo teor de clorofila	(Daughtry et al. 2000)
Triangular Vegetation Index (TVI)	$0,5(120(R_{750}-R_{550}) - 200(R_{670}-R_{550}))$	Baseado no facto de a área total do triângulo (verde, vermelho, infravermelho) aumentará em resultado da absorção da clorofila (diminuição da reflectância no vermelho) e da abundância do tecido foliar (aumento da reflectância no NIR).	(Broge and Leblanc 2000)
Zarco e Miller (ZTM)	R_{750}/R_{710}	Identifica e quantifica concentrações de clorofila, permitindo a detecção remota de stress nas plantas e o mapeamento através da variação no teor de clorofila	(Zarco-Tejada et al. 2001)
Transformed chlorophyll absorption ratio index/optimized soil-adjusted vegetation index (TCARI/OSAVI)	$[3((R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550})(R_{700}/R_{670}))]/[(1 + 0,16)(R_{800} - R_{670})/(R_{800} + R_{670} + 0,16)]$	Integra as vantagens de índices que minimizam o efeito de fundo do solo e índices sensíveis à concentração da clorofila	(Haboudane et al. 2002)
Wide dynamic range vegetation index (WDRVI)	$WDRVI = (a*NIR - red) / (a*NIR + red)$	Melhora a dinâmica do intervalo do NDVI ao aplicar um parâmetro de ponderação “a” à reflectância no infravermelho próximo	(Gitelson 2004)
Modified chlorophyll absorption ratio index 1 (MCARI1)	$1,2[2,5(R_{800}-R_{670}) - 1,3(R_{800}-R_{550})]$	Variante do índice MCARI, no qual é eliminada a razão R700/R670 de modo a baixar a sensibilidade aos efeitos da clorofila e é integrado o comprimento de onda no NIR para aumentar a sensibilidade às alterações do LAI	(Haboudane et al. 2004)
Modified chlorophyll absorption ratio index 2 (MCARI2)	$(1,5[2,5(R_{800}-R_{670})-1,3(R_{800}-R_{550})])/(\sqrt{(2R_{800}+1)^2-(6(R_{800}-5\sqrt{R_{670}})-0,5)})$	Definido para reduzir os efeitos de contaminação pelo solo	(Haboudane et al. 2004)
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI1)	$1,2[1,2(R_{800}-R_{550}) - 2,5(R_{670}-R_{550})]$	Para ajustar a estimativa do LAI foi substituído o comprimento de onda dos 750nm por 800nm, cuja reflectância é influenciada pelas alterações na estrutura da folha e do copado e é insensível às alterações no nível de pigmento	(Haboudane et al. 2004)
Improved Modified Triangular Vegetation Index (MTVI2)	$(1,5[1,2(R_{800}-R_{550})-2,5(R_{670}-R_{550})])/(\sqrt{(2R_{800}+1)^2-(6(R_{800}-5\sqrt{R_{670}})-0,5)})$	Definido para reduzir os efeitos de contaminação pelo solo	(Haboudane et al. 2004)

(continua)

Quadro A.4 – Resumo de alguns dos principais índices de vegetação (continuação)

Índices de vegetação	Formulação	Características	Autores
Blue/Green e Blue/Red Pigment Índices (RGI, BGI, BRI)	$RGI = R_{690} / R_{550}$ $BGI1 = R_{400} / R_{550}$ $BGI2 = R_{450} / R_{550}$ $BRI1 = R_{400} / R_{690}$ $BRI2 = R_{450} / R_{690}$	Sensíveis a concentrações de pigmentos específicas	(Zarco-Tejada et al. 2005)
Green NDVI (GNDVI)	$GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$		(Gitelson et al. 1996)
Blue NDVI (BNDV)	$BNDVI = (NIR - Blue) / (NIR + Blue)$		(Wang et al. 2007)
Green-Red NDVI (GRNDVI)	$GRNDVI = [NIR - (Green + Red)] / [NIR + (Green + Red)]$	A reflectância da banda do vermelho do NDVI é substituída por todas as combinações de reflectância no vermelho, verde e azul, incluindo a reflectância no verde, azul e vermelho, a soma das reflectâncias no verde e vermelho, a soma das reflectâncias no verde e azul, a soma das reflectâncias no vermelho e azul e a soma da reflectância das três bandas	(Wang et al. 2007)
Green-Blue NDVI (GBNDVI)	$GBNDVI = [NIR - (Green + Blue)] / [NIR + (Green + Blue)]$		(Wang et al. 2007)
Red-Blue NDVI (RBNDVI)	$RBNDVI = [NIR - (Red + Blue)] / [NIR + (Red + Blue)]$		(Wang et al. 2007)
Pan NDVI (PNDVI)	$PNDVI = [NIR - (Green + Red + Blue)] / [NIR + (Green + Red + Blue)]$		(Wang et al. 2007)

Em que NIR corresponde à reflectância na banda do infravermelho; RED é a reflectância na banda do vermelho; L é uma constante (0.5), a0 e a1 são a intercepção e o declive da linha do solo, respectivamente; Green e Blue são a reflectância nas bandas do verde e do azul do espectro electromagnético, respectivamente; R_x corresponde à reflectância no comprimento de onda x. Relativamente ao índice EVI, G é um "gain factor", L é um termo de ajuste relativo ao solo, C1 e C2 são coeficientes relacionados com a resistência aos aerossóis, respectivamente $G=2.5$, $L=1$, $C1=6$ and $C2=7.5$.

ANEXO 6

Script usado para conversão dos dados digitais em reflectância (considerando o coseno do ângulo solar incidente pixel-a-pixel) e obtenção dos NDVIs

```
REM ***** colocar o percurso e nome do ficheiro
*****
FILE="C:\PCI_Landsat\2001\26Mai01\PR\26Mai01G_PRRs.pix"
CM01="HI1"
DBOC=1
r MCD
CM01="HI2"
DBOC=2
r MCD
CM01="HI3"
DBOC=3
r MCD
CM01="HI4"
DBOC=4
r MCD
CM01="HI5"
DBOC=5
r MCD
CM01="HI6"
DBOC=6
r MCD
CM01="HI7"
DBOC=7
r MCD
Mask=
REM ***** Atribuição dos valores de teta para as bandas 3 e 4 a canais vazios *****
REM ***** Banda 3 *****
OPER="ADD"
CNST=-0.01039
DBIC=35
DBOC=36
r ARI
REM ***** Banda 4 *****
CNST=-0.01575
DBIC=37
DBOC=38
r ARI
REM ***** Calibração das Banda red (3) e NIR (4) *****
REM ***** inserir valores de Beta e Zeta calculados para cada imagem / banda *****
REM ***** Calibração da Banda 3 *****
OPER="DIV"
CNST=777.13
DBIC=3
DBOC=15
```

```
r ARI
OPER="DIV"
DBIC=15,28
DBOC=16
r ARI
OPER="DIV"
DBIC=36,28
DBOC=17
r ARI
OPER="ADD"
CNST=
DBIC=16,17
DBOC=21
r ARI
CM01="HI3 Reflectance"
r MCD
REM ***** Calibração da Banda 4 *****
OPER="DIV"
CNST=508.24
DBIC=4
DBOC=18
r ARI
OPER="DIV"
DBIC=18,28
DBOC=19
r ARI
OPER="DIV"
DBIC=38,28
DBOC=20
r ARI
OPER="ADD"
CNST=
DBIC=19,20
DBOC=22
r ARI
CM01="HI4 Reflectance"
r MCD
REM ***** Cálculos Auxiliares de NDVI *****
OPER="ADD"
CNST=
DBIC=22,21
DBOC=30
r ARI
OPER="SUB"
DBOC=31
r ARI
REM ***** Correção Atmosférica *****
REM ***** valor obtido para cada imagem *****
CNST=0.006818
DBIC=30
```

```
DBOC=32
r ARI
REM ***** Calculo de NDVI *****
OPER="DIV"
CNST=
ZERODIV=0
DBIC=31,30
DBOC=33
r ARI
DBIC=31,32
DBOC=34
r ARI
OPER="MUL"
CNST=200
DBIC=33
DBOC=9
r ARI
DBIC=34
DBOC=10
r ARI
REM ***** Colocação de Etiquetas *****
CM01="NDVI"
DBOC=9,33
r MCD
CM01="NDVI (Atm. Corrected)"
DBOC=10,34
r MCD

REM ***** Nota: canal 28 contém o mapa do coseno solar incidente derivado a partir
do modelo digital do terreno *****
```


ANEXO 7

Quadro A.5 – Relatório de erros produzido no processo de ortorrectificação da imagem de 30 de Abril de 1979, considerando 20 GCPs (pontos de controlo).

ID Ponto	Erro	Erro X	Erro Y	Tipo	ID imagem	Imagem X	Imagem Y	Comp x	Comp Y
G0002	1.32	-0.83	-1.03	GCP	30Abr79ortorect	5373	2863	5372.2	2862
G0019	1.25	-0.43	-1.17	GCP	30Abr79ortorect	5804	2618	5803.6	2616.8
G0030	1.23	0.94	0.79	GCP	30Abr79ortorect	5831	2601	5831.9	2601.8
G0024	1.17	-0.08	-1.16	GCP	30Abr79ortorect	5498	3011	5497.9	3009.9
G0020	1.14	0.28	-1.1	GCP	30Abr79ortorect	5569	3198	5569.3	3196.9
G0010	1.11	-1.08	0.22	GCP	30Abr79ortorect	5246	2829	5244.9	2829.2
G0016	1.07	1.06	-0.13	GCP	30Abr79ortorect	5175	3363	5176.1	3362.9
G0011	1.03	-0.07	1.02	GCP	30Abr79ortorect	5263	2686	5262.9	2687
G0008	1.01	0.77	-0.65	GCP	30Abr79ortorect	5346	3222	5346.8	3221.4
G0001	0.95	0.45	0.84	GCP	30Abr79ortorect	5457	2876	5457.4	2876.8
G0004	0.94	-0.86	-0.37	GCP	30Abr79ortorect	5276	3357	5275.1	3356.7
G0028	0.92	-0.08	0.92	GCP	30Abr79ortorect	5495	3093	5494.9	3093.9
G0012	0.84	0.35	-0.76	GCP	30Abr79ortorect	5631	2694	5631.3	2693.3
G0018	0.77	-0.43	0.65	GCP	30Abr79ortorect	5656	3173	5655.6	3173.6
G0006	0.74	-0.61	0.43	GCP	30Abr79ortorect	5236	3042	5235.4	3042.4
G0015	0.73	-0.53	0.51	GCP	30Abr79ortorect	6068	2939	6067.5	2939.5
G0029	0.71	-0.06	0.7	GCP	30Abr79ortorect	5337	3553	5337	3553.7
G0026	0.69	0.68	0.08	GCP	30Abr79ortorect	5679	2576	5679.7	2576.1
G0022	0.62	0.62	-0.05	GCP	30Abr79ortorect	5084	3217	5084.6	3217
G0027	0.28	-0.08	0.27	GCP	30Abr79ortorect	5722	2935	5721.9	2935.3

RMS (x;y) para os 5% pontos piores da lista: (0.83; 1.03)

X RMS: 0.63; Y RMS: 0.76

Quadro A.6 – Relatório de erros produzido no processo de ortorrectificação da imagem de 14 de Março de 1989, considerando 22 GCPs (pontos de controlo).

ID Ponto	Erro	Erro X	Erro Y	Tipo	ID imagem	Imagem X	Imagem Y	Comp x	Comp Y
G0002	0.77	-0.02	0.77	GCP	14Mar89ortorect	4624.0	3514.0	4624.0	3514.8
G0012	0.71	0.11	-0.70	GCP	14Mar89ortorect	4304.0	4183.0	4304.1	4182.3
G0015	0.69	0.62	0.31	GCP	14Mar89ortorect	4746.0	3861.0	4746.6	3861.3
G0017	0.66	-0.26	-0.61	GCP	14Mar89ortorect	4300.0	3339.0	4299.7	3338.4
G0018	0.64	0.63	0.14	GCP	14Mar89ortorect	4960.0	3621.0	4960.6	3621.1
G0019	0.64	-0.51	-0.38	GCP	14Mar89ortorect	5278.0	3425.0	5277.5	3424.6
G0022	0.63	-0.47	-0.41	GCP	14Mar89ortorect	4818.0	3630.0	4817.5	3629.6
G0008	0.62	0.40	-0.47	GCP	14Mar89ortorect	4917.0	3224.0	4917.4	3223.5
G0014	0.53	0.47	-0.25	GCP	14Mar89ortorect	4237.0	3905.0	4237.4	3904.7
G0006	0.50	0.44	0.24	GCP	14Mar89ortorect	4091.0	3709.0	4091.4	3709.2
G0020	0.50	-0.05	0.49	GCP	14Mar89ortorect	4565.0	3106.0	4564.9	3106.5
G0003	0.47	-0.33	0.33	GCP	14Mar89ortorect	4374.0	4097.0	4373.7	4097.3
G0011	0.46	-0.43	-0.17	GCP	14Mar89ortorect	4417.0	3718.0	4416.6	3717.8
G0013	0.39	-0.38	-0.11	GCP	14Mar89ortorect	4489.0	4042.0	4488.6	4041.9
G0016	0.36	0.27	0.25	GCP	14Mar89ortorect	4689.0	3347.0	4689.3	3347.3
G0010	0.33	-0.33	-0.01	GCP	14Mar89ortorect	4215.0	3641.0	4214.6	3641.0
G0009	0.32	0.03	0.32	GCP	14Mar89ortorect	4326.0	3110.0	4326.0	3110.3
G0005	0.26	-0.05	0.25	GCP	14Mar89ortorect	4522.0	3503.0	4521.9	3503.3
G0021	0.22	0.04	-0.22	GCP	14Mar89ortorect	3926.0	3744.0	3926.1	3743.8
G0004	0.14	-0.11	0.09	GCP	14Mar89ortorect	4971.0	3428.0	4970.9	3428.1
G0007	0.13	-0.12	0.06	GCP	14Mar89ortorect	4359.0	3559.0	4358.9	3559.0
G0001	0.08	0.05	0.06	GCP	14Mar89ortorect	4422.0	3519.0	4422.1	3519.1

RMS (x;y) para os 5% pontos piores da lista: (0.22; 0.77)

X RMS: 0.35; Y RMS: 0.37

ANEXO 8

Quadro A.7 – Métricas da mancha, da classe e da paisagem calculadas no software FRAGSTATS para caracterização do mosaico paisagístico de Montalegre

Métricas	Tipo de métricas	Níveis		
		Parcela	Classe	Paisagem
Área total – CA (ha)	Área/ Densidade/ Orla		X	x
Porcentagem da paisagem – PLAND (%)	Área/ Densidade/ Orla		x	
Número de Parcelas – PN	Área/ Densidade/ Orla	x	x	x
Área (ha): MN – média; AM – média ponderada; MD – mediana; RA – amplitude; SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação	Área/ Densidade/ Orla	x	x	x
Densidade da parcela – PD (nº/100ha)	Área/ Densidade/ Orla		x	x
Índice da parcela maior – LPI (%)	Área/ Densidade/ Orla		x	x
Índice de forma da paisagem - LSI	Área/ Densidade/ Orla		x	x
Índice de forma da paisagem normalizado - NLSI	Área/ Densidade/ Orla		x	
<i>Radius of gyration</i> – GYRATE: MN – média; AM – média ponderada; MD – mediana; RA – amplitude; SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação	Área/ Densidade/ Orla	x	x	x
Razão perímetro-área – PARA: MN – média; AM – média ponderada; MD – mediana; RA – amplitude; SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação	Forma	x	x	x
Índice da forma – SHAPE (> 1): MN – média; AM – média ponderada; MD – mediana; RA – amplitude; SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação	Forma	x	x	x
Índice de dimensão fractal – FRAC [1, 2]: MN – média; AM – média ponderada; MD – mediana; RA – amplitude; SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação	Forma	x	x	x
Índice de contiguidade – CONTIG: MN – média; AM – média ponderada; MD – mediana; RA – amplitude; SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação	Forma	x	x	x
Dimensão fractal perímetro-área – PARAFRAC [1, 2]	Forma		x	x
Índice <i>Clumpiness</i> – CLUMPY [-1, 1]	Contágio / Difusão		x	
Índice de difusão/Justaposição– IJI (%)	Contágio / Difusão		x	x

(continua)

Quadro A.7 – Métricas da mancha, da classe e da paisagem calculadas no software FRAGSTATS para caracterização do mosaico paisagístico de Montalegre (continuação)

Métricas	Tipo de métricas	Níveis		
		Parcela	Classe	Paisagem
Índice de divisão da paisagem – DIVISION [0,1]	Contágio / Difusão		x	x
Índice de separação- SPLIT	Contágio / Difusão		x	x
Tamanho efectivo da malha - MESH	Contágio / Difusão		x	x
Contágio – CONTAG [0, 1]	Contágio / Difusão			x
Índice de coesão das parcelas – COHESION (%)	Contágio / Difusão		x	x
Riqueza de parcelas – PR (nº)	Diversidade			x
Índice de diversidade de Shannon – SHDI (≥ 0)	Diversidade			x
Índice de diversidade de Simpson – SIDI [0, 1]	Diversidade			x
Índice de diversidade de Simpson modificado – MSIDI	Diversidade			x
Índice de equitabilidade de Shannon – SHEI [0, 1]	Diversidade			x
Índice de equitabilidade de Simpson – SIEI [0, 1]	Diversidade			x
Índice de equitabilidade de Simpson modificado – MSIEI	Diversidade			x

ANEXO 9

Quadro A.8 - Comparação dos valores de NDVI médios (n=3) e respectivos coeficientes de variação (entre parêntesis), obtidos pelos diferentes sensores e espectrorradiômetro, em lameiros de regadio (LMR) e lameiros de sequeiro (LMS) em Salto.

Mês	Tipo de lameiro	Sensores										
		SPOT(10m)*			SPOT(20m)*			Landsat5*		Landsat7*		
		Sp	D1	D2	Sp	D1	D2	Sp	D1	Sp	D1	D2
Jul	LMR				0.82 (0.01)	0.84 (0.02)	0.76 (0.02)			0.83 (0.01)	0.71 (0.07)	
	LMS				0.64 (0.08)	0.61 (0.04)	0.56 (0.04)			0.59 (0.09)	0.50 (0.07)	
	<i>Sign.</i>				0.044	0.000	0.000			0.001	0.004	
Ago	LMR	0.65 (0.08)	0.68 (0.18)	0.63 (0.05)	0.65 (0.08)	0.61 (0.06)						
	LMS	0.27 (0.32)	0.37 (0.04)	0.45 (0.04)	0.27 (0.32)	0.38 (0.05)						
	<i>Sign.</i>	0.003	0.015	0.001	0.003	0.001						
Set	LMR	0.70 (0.15)	0.71 (0.04)				0.71 (0.15)	0.77 (0.02)				
	LMS	0.49 (0.28)	0.49 (0.03)				0.48 (0.29)	0.43 (0.03)				
	<i>Sign.</i>	0.100	0.000				0.088	0.000				
Out	LMR						0.77 (0.10)	0.69 (0.06)	0.77 (0.10)	0.73 (0.04)		
	LMS						0.59 (0.12)	0.66 (0.01)	0.60 (0.11)	0.64 (0.05)		
	<i>Sign.</i>						0.046	0.173	0.046	0.021		
Nov	LMR								0.44 (0.37)	0.59 (0.03)	0.69 (0.04)	
	LMS								0.51 (0.10)	0.65 (0.07)	0.70 (0.00)	
	<i>Sign.</i>								0.542	0.180	0.691	
Dez	LMR	0.43 (0.21)	0.62 (0.11)	0.65 (0.10)			0.66 (0.02)	0.42 (0.22)				
	LMS	0.43 (0.07)	0.63 (0.05)	0.60 (0.02)			0.64 (0.11)	0.41 (0.07)				
	<i>Sign.</i>	0.928	0.818	0.313			0.707	0.942				
Jan	LMR	0.48 (0.10)	0.65 (0.10)									
	LMS	0.45 (0.13)	0.53 (0.05)									
	<i>Sign.</i>	0.484	0.041									
Fev	LMR								0.69 (0.12)	0.57 (0.03)	0.63 (0.04)	
	LMS								0.41 (0.18)	0.44 (0.03)	0.61 (0.03)	
	<i>Sign.</i>								0.018	0.000	0.257	

(continua)

Quadro A.8 - Comparação dos valores de NDVI médios (n=3) e respectivos coeficientes de variação (entre parêntesis), obtidos pelos diferentes sensores e espectrorradiômetro, em lameiros de regadio (LMR) e lameiros de sequeiro (LMS) em Salto (continuação)

Mês	Tipo de lameiro	Sensores										
		SPOT(10m)*			SPOT(20m)*			Landsat5*		Landsat7*		
		Sp	D1	D2	Sp	D1	D2	Sp	D1	Sp	D1	D2
Mar	LMR	0.57 (0.07)	0.47 (0.10)	0.66 (0.09)	0.57 (0.07)	0.53 (0.10)		0.57 (0.07)	0.70 (0.01)			
	LMS	0.58 (0.09)	0.43 (0.04)	0.57 (0.03)	0.58 (0.09)	0.51 (0.06)		0.58 (0.09)	0.66 (0.03)			
	<i>Sign.</i>	0.754	0.234	0.072	0.754	0.678		0.754	0.043			
Abr	LMR	0.64 (0.28)	0.73 (0.10)									
	LMS	0.67 (0.06)	0.63 (0.04)									
	<i>Sign.</i>	0.829	0.089									
Jun	LMR	0.81 (0.01)	0.85 (0.03)		0.81 (0.01)	0.76 (0.04)				0.83 (0.00)	0.82 (0.03)	
	LMS	0.71 (0.06)	0.80 (0.02)		0.71 (0.06)	0.56 (0.07)				0.72 (0.07)	0.75 (0.03)	
	<i>Sign.</i>	0.015	0.031		0.015	0.002				0.017	0.016	

Sign – Probabilidade associada ao teste F da ANOVA.; Sp – espectrorradiômetro; LMR – lameiros de regadio; LMS – lameiros de sequeiro; Quando para um dado sensor existe mais de uma data no mesmo mês, a data mais precoce foi designada D1 e a mais tardia D2.

* SPOT (10m) corresponde ao sensor SPOT5 HRG; SPOT (20m) corresponde aos sensores SPOT 4 HRVIR e SPOT 2 HRV; Landsat5 corresponde ao Landsat5 TM; Landsat7 corresponde ao Landsat7 ETM+.

ANEXO 10

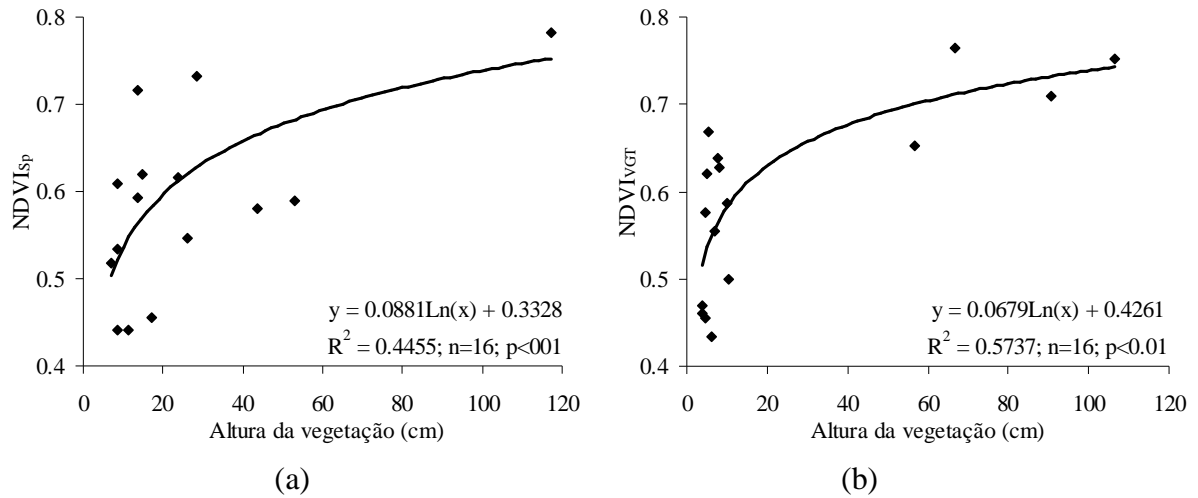


Figura A.4 – Relação entre a altura da vegetação medida em campo e o NDVI derivado a partir das medições de reflectância obtidas com o espectrorradiômetro (NDVI_{Sp}), para o período entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008 e para o local de estudo em (a) Paredes do Rio (PRR) e (b) Salto (SLT).

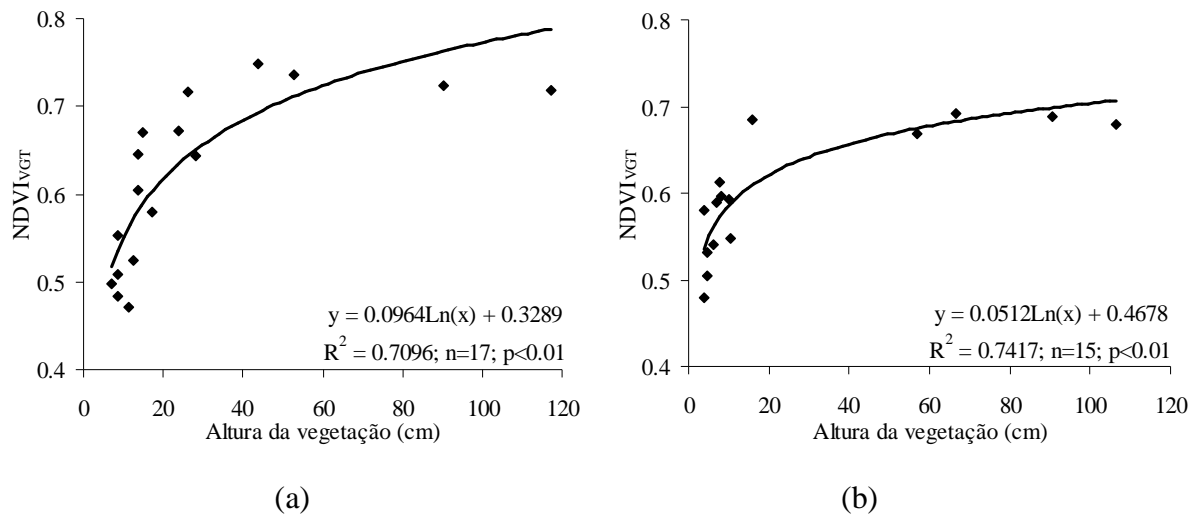
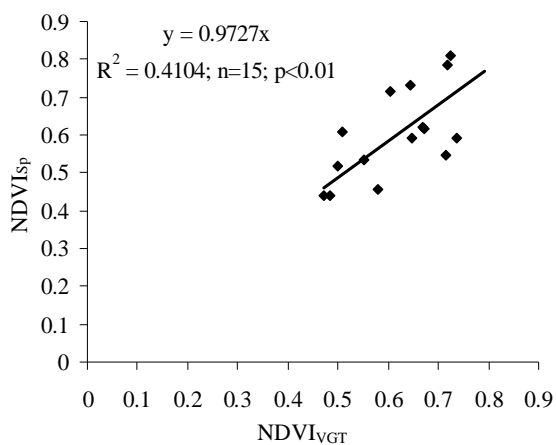
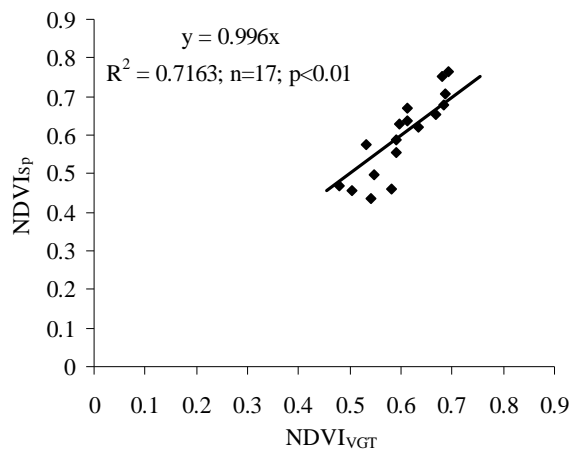


Figura A.5 – Relação entre a altura da vegetação medida em campo e o NDVI derivado a partir do VEGETATION (NDVI_{vgr}), para o período entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008 e para o local de estudo em (a) Paredes do Rio (PRR) e (b) Salto (SLT).



(a)



(b)

Figura A.6 – Relação entre o NDVI derivado a partir das medições de reflectância obtidas com o espectrorradiómetro (NDVI_{Sp}) e a partir do sensor VEGETATION (NDVI_{VGT}), para o período entre Julho de 2007 e Dezembro de 2008 e para o local de estudo em (a) Paredes do Rio (PRR) e (b) Salto (SLT).

ANEXO 11

Quadro A.9 – Dados de área e número de explorações com pastagens permanentes em terra limpa, no concelho de Montalegre e nas freguesias de Covelães e Salto desse mesmo concelho, de acordo com os dados dos recenseamentos da agricultura de 1989 e 1999 (INE 2001)

Local	1989					1999					
	Pastagens permanentes em terra limpa				SAU	Nº expl. total	Pastagens permanentes em terra limpa			SAU	Nº expl. total
	Nº explorações	Área (ha)	Área / exploração	Nº explorações			Área (ha)	Área / exploração			
CC - Montalegre	2766	8255	3.0	18080	3007	2363	23321	9.9	34417	2478	
FG - Covelães	75	228	3.0	475	80	42	439	10.4	775	50	
FG - Salto	197	1102	5.6	1554	213	167	3256	19.5	4446	170	

Nos recenseamentos da agricultura de 1989 e 1999, a área de pastagens permanentes em terra limpa inclui a área de pastagens permanentes espontâneas pobres em terra limpa e a área de prados e pastagens permanentes espontâneos melhorados e semeados.

Os prados e pastagens permanentes são definidos como o conjunto de plantas, em geral herbáceas, destinadas a serem comidas pelo gado no local em que vegetam e que acessoriamente podem ser cortadas em determinados períodos do ano, podendo ser semeados ou espontâneos.

As pastagens pobres são definidas como as pastagens frequentemente situadas em zonas acidentadas e não são melhoradas por adubações, cultivos, sementeiras, drenagens ou regas.

Quadro A.10 – Número de parcelas (em valor percentual) de acordo com a área de superfície agrícola útil (SAU), no concelho de Montalegre e nas freguesias de Covelães (que inclui a aldeia de Paredes do Rio) e Salto

Parcelas com:	Montalegre (%)	Covelães (%)	Salto (%)
SAU < 0.2ha	36.0	22.1	11.8
0.2 ha < SAU < 0.5 ha	38.0	36.6	22.1
0.5 ha < SAU < 1 ha	15.8	27.8	25.3
1 ha < SAU < 2 ha	7.3	11.3	24.5
2 ha < SAU < 5 ha	2.4	2.1	13.5
SAU > 5 ha	0.5	-	2.8

Quadro A.11 – Dados do grau de mecanização no concelho de Montalegre e nas freguesias de Covelães e Salto desse mesmo concelho, de acordo com os dados dos recenseamentos da agricultura de 1989 e 1999 (INE 2001)

		1989		1999	
		Nº explorações	Nº máquinas	Nº explorações	Nº máquinas
Colhedores de forragens	CC - Montalegre	11	11	65	67
	FG - Covelães	-	-	-	-
	FG - Salto	-	-	2	...
Gadanheiras	CC - Montalegre	59	61	274	291
	FG - Covelães	1	...	4	4
	FG - Salto	7	7	57	63
Motoceifeiras (motogadanheiras)	CC - Montalegre	672	738	816	918
	FG - Covelães	29	33	26	32
	FG - Salto	60	61	55	58
Motocultivadores	CC - Montalegre	8	8	18	18
	FG - Covelães	2	...	-	-
	FG - Salto	-	-	3	3
Motoenxadas (motofresas)	CC - Montalegre	7	7	6	6
	FG - Covelães	-	-	-	-
	FG - Salto	-	-	-	-
Total de tractores	CC - Montalegre	616	665	950	1176
	FG - Covelães	15	17	21	28
	FG - Salto	47	47	71	88
Viradores de feno	CC - Montalegre	x	x	312	315
	FG - Covelães	x	x	12	12
	FG - Salto	x	x	57	57

ANEXO 12

Quadro A.12 – Matriz de confusão para a discriminação dos LCT obtida usando apenas o NDVI e considerando uma combinação de três imagens (29 de Maio, 22 de Junho e 30 de Junho).

LCT	n	Tipos de coberto do solo (%)				
		LMR	BLD	CS	MF	MR
LMR	12	83.3	0.0	8.3	8.3	0.0
BLD	11	0.0	45.5	36.4	0.0	18.2
CS	10	0.0	0.0	60.0	0.0	40.0
MF	9	22.2	0.0	11.1	77.8	0.0
MR	11	0.0	0.0	18.2	18.2	63.6

ANEXO 13

Quadro A.13 – Matriz de correlação das variáveis NDVI, evapotranspiração (ET), temperatura de superfície de acordo com o modelo digital do terreno (T_{sDEM}) e fluxo de calor do solo (G) em 29 Maio (29M), 22 de Junho (22J) e 30 de Junho (30J). Valores críticos para a correlação de Pearson, considerando $n=12$ variáveis: $r>0.675$ ($p<0.05$).

Variável	NDVI29M	NDVI22J	NDVI30J	ET29M	ET22J	ET30J	$T_{sDEM}29M$	$T_{sDEM}22J$	$T_{sDEM}30J$	G29M	G22J	G30J
NDVI29M	1.0000	0.7427	0.4650	0.3480	0.5733	0.1977	-0.4789	-0.4198	-0.3244	-0.8048	-0.5586	-0.4111
NDVI22J	<u>0.7417</u>	1.0000	0.7686	0.1057	0.4850	0.1198	-0.3005	-0.4844	-0.4482	-0.6572	-0.7933	-0.6786
NDVI30J	0.4650	<u>0.7686</u>	1.0000	-0.0587	0.3356	0.1197	-0.3429	-0.5523	-0.6183	-0.3651	-0.5118	-0.6894
ET29M	0.3480	0.1057	-0.0587	1.0000	0.7973	0.8923	0.3814	0.4836	0.4092	-0.4425	-0.2453	-0.1836
ET22J	0.5733	0.4850	0.3356	<u>0.7973</u>	1.0000	0.7838	0.0568	-0.0575	0.0238	-0.5089	-0.4036	-0.3470
ET30J	0.1977	0.1198	0.1197	<u>0.8923</u>	<u>0.7838</u>	1.0000	0.4524	0.4534	0.2476	-0.3305	-0.2476	-0.2742
$T_{sDEM}29M$	-0.4789	-0.3005	-0.3429	0.3814	0.0568	0.4524	1.0000	0.8068	0.7292	0.0350	-0.0872	-0.1098
$T_{sDEM}22J$	-0.4198	-0.4844	-0.5523	0.4836	-0.0575	0.4534	<u>0.8068</u>	1.0000	0.7907	0.0951	0.1411	0.1616
$T_{sDEM}30J$	-0.3244	-0.4482	-0.6183	0.4092	-0.0238	0.2476	<u>0.7292</u>	<u>0.7907</u>	1.0000	-0.0331	0.0555	0.1725
G29M	<u>-0.8048</u>	-0.6572	-0.3651	-0.4425	-0.5089	-0.3305	0.0350	0.0951	-0.0331	1.0000	0.8167	0.7075
G22J	-0.5586	<u>-0.7933</u>	-0.5118	-0.2453	-0.4036	-0.2476	-0.0872	0.1411	0.0550	<u>0.8167</u>	1.0000	0.8556
G30J	-0.4144	<u>-0.6786</u>	<u>-0.6894</u>	-0.1836	-0.3470	-0.2742	-0.1098	0.1616	0.1725	<u>0.7075</u>	<u>0.8556</u>	1.0000

ANEXO 14

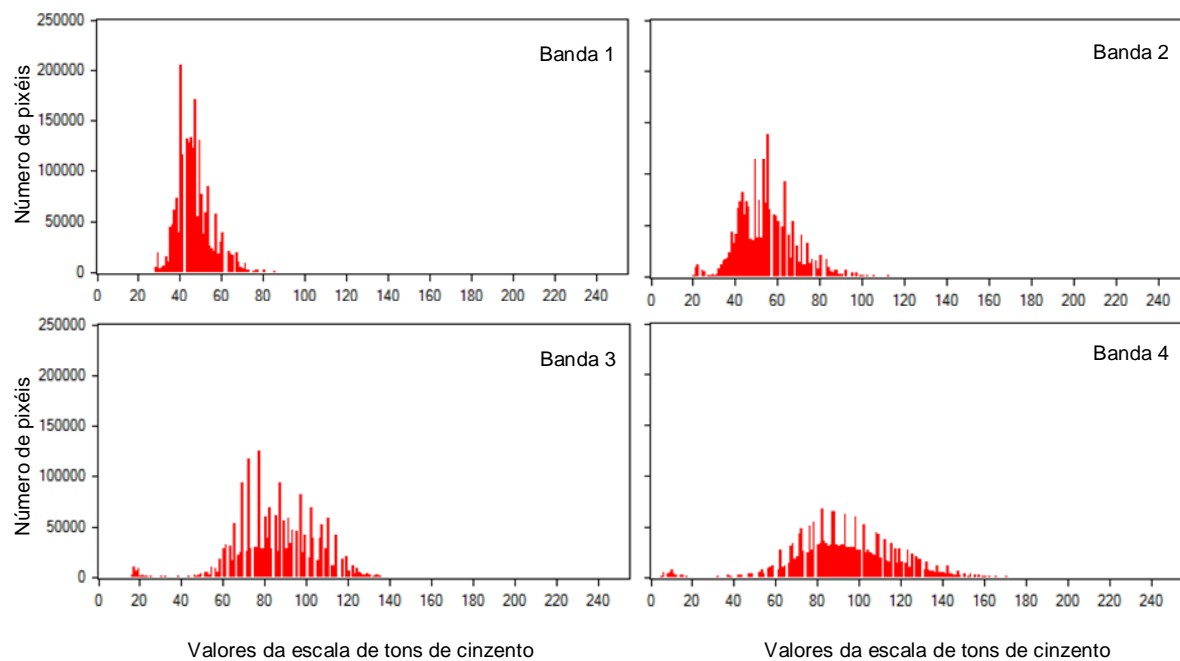


Figura A.7 - Histogramas das bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem Landsat2 MSS de 30 de Abril de 1979

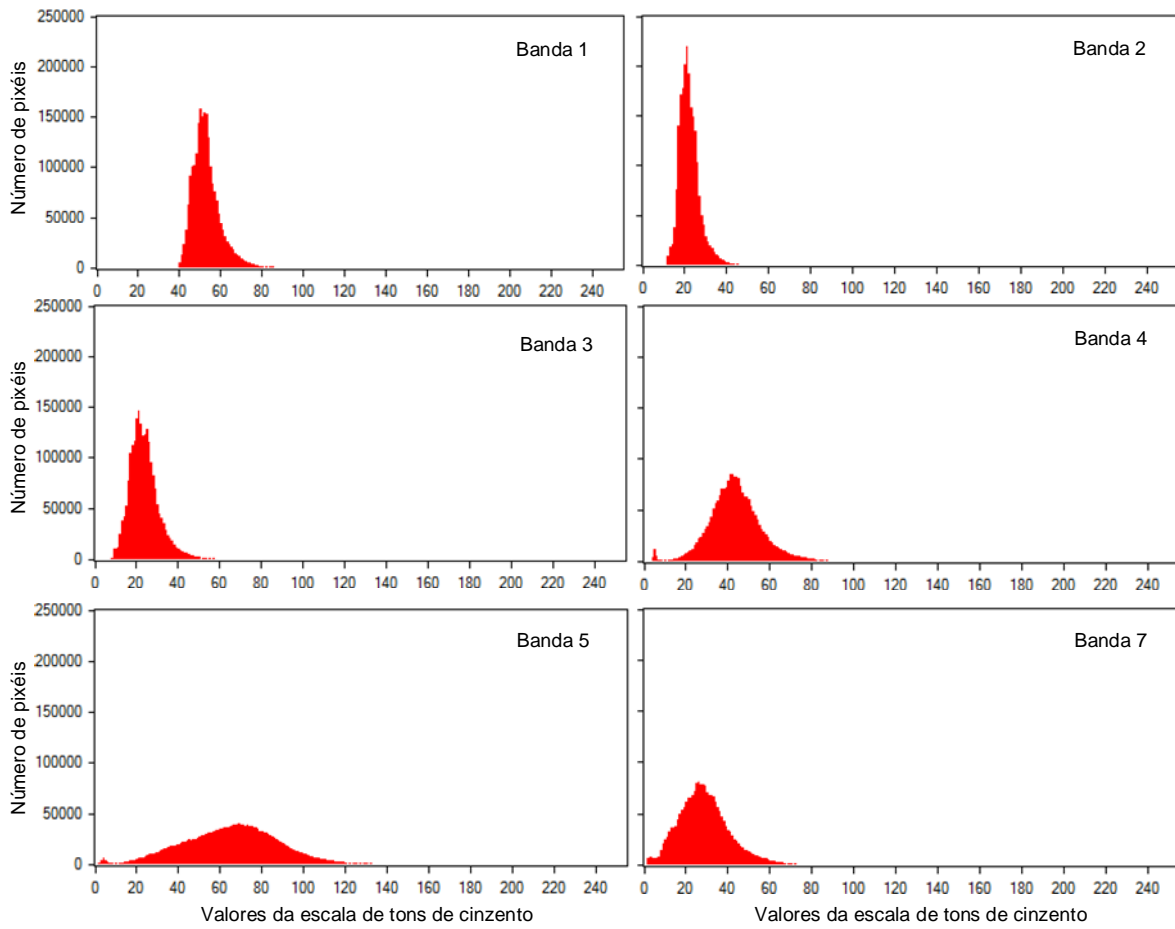


Figura A.8 - Histogramas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat5 TM de 14 de Março de 1989.

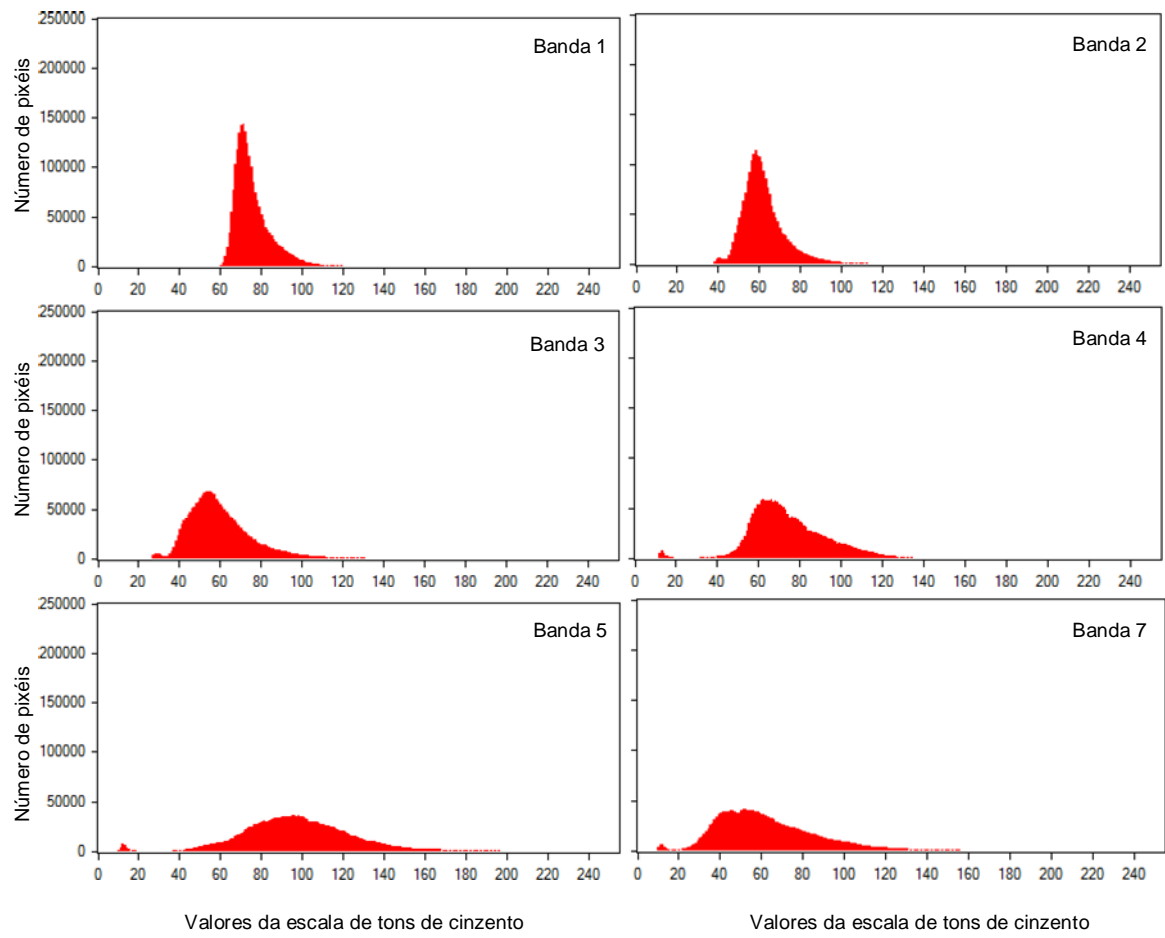


Figura A.9 - Histogramas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat7 ETM+ de 29 de Maio de 2002.

ANEXO 15

Quadro A.14 – Matriz de confusão, em valores percentuais, definida sobre as áreas de validação da imagem classificada com filtro *majority*, com janelas 1x3 e 3x1, de 30 de Abril de 1979.

Classes	AG	RN	URB	LM	OA	MR	MF	VE	VEA	VA	VAD
<i>Janela do filtro 1x3</i>											
AG	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
RN	0.0	95.3	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	0.0	83.8	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	10.8	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	90.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	4.4	0.0	0.0	89.0	0.0	3.3	3.3	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	89.1	0.0	0.0	4.5	0.0
VE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	91.3	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	92.8	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	92.8
Rigor Global	92.6										
Coefficiente Kappa	0.934										
<i>Janela do filtro 3x1</i>											
AG	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
RN	0.0	95.3	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	0.0	78.4	0.0	0.0	0.0	10.8	0.0	10.8	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	90.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	4.4	0.0	0.0	89.0	0.0	3.3	3.3	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	89.1	0.0	0.0	4.5	0.0
VE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	91.8	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	92.8	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.5	92.3
Rigor Global	92.1										
Coefficiente Kappa	0.932										

Quadro A.15 – Matriz de confusão, em valores percentuais, definida sobre as áreas de validação da imagem classificada com filtro *majority*, com janelas 1x3 e 3x1, de 14 de Março de 1989

Classes	AG	RN	URB	LM	OA	MR	MF	VE	VEA	VA	VAD
<i>Janela do filtro 1x3</i>											
AG	90.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
RN	0.0	97.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	5.2	92.7	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	1.2	0.0	5.8	91.9	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.9	0.0	0.0	1.0	0.0	6.0
MF	0.0	0.8	0.0	0.0	3.9	0.0	82.7	0.8	0.8	11.0	0.0
VE	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.9	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	96.3	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	1.1	93.6	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	7.5	0.0	0.0	1.2	0.0	90.8
Rigor Global	92.6										
Coeficiente Kappa	0.900										
<i>Janela do filtro 3x1</i>											
AG	91.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
RN	0.0	95.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	3.1	94.8	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	1.2	0.0	5.8	93.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.7	0.0	0.0	1.0	0.0	6.3
MF	0.0	0.8	0.0	0.0	4.7	0.0	79.5	0.0	0.0	15.0	0.0
VE	0.0	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	96.7	0.0	0.0
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	2.1	0.0	0.0	91.5	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	6.5	0.0	0.0	1.0	0.0	92.0
Rigor Global	92.5										
Coeficiente Kappa	0.905										

Quadro A.16 – Matriz de confusão, em valores percentuais, definida sobre as áreas de validação da imagem classificada com filtro *majority*, com janelas 1x3 e 3x1, de 29 de Maio de 2002.

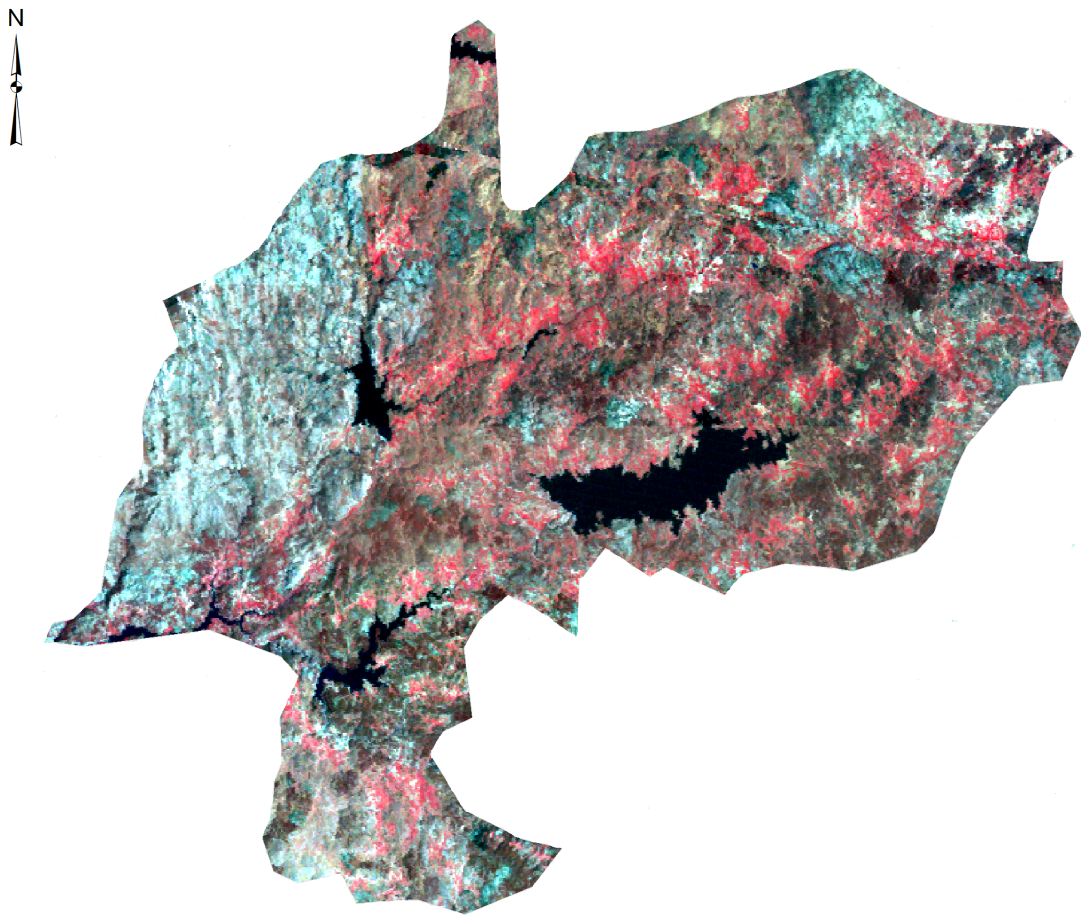
Classes	AG	RN	URB	LM	OA	MR	MF	VE	VEA	VA	VAD
<i>Janela do filtro 1x3</i>											
AG	99.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RN	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	4.9	90.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	99.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	0.0	1.4	8.6	87.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	84.6	0.0	5.8	0.0	3.8
VE	0.0	3.4	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	94.4	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.6	0.0	8.4
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	2.9	96.2
Rigor Global	94.3										
Coeficiente Kappa	0.956										
<i>Janela do filtro 3x1</i>											
AG	99.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
RN	0.0	96.3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
URB	0.0	2.4	92.7	0.0	2.4	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0
LM	0.0	0.0	0.0	98.1	1.3	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
OA	0.0	0.0	1.4	7.1	87.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
MF	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	92.3	0.0	0.0	1.9	1.9
VE	0.0	4.5	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	91.0	0.0	0.0	0.0
VEA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.3	0.0	8.7
VA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
VAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	96.2
Rigor Global	94.5										
Coeficiente Kappa	0.954										

ANEXO 16

Pixel 57m	Pixel 30m												
Exemplo 1													
124	112	105	105	117	112	101	107	110	110	97	97	110	110
124	103	114	124	110	107	97	107	110	110	97	97	110	110
107	107	110	97	110	107	107	144	110	110	97	97	102	102
133	144	110	97*	102	114	110	144	110	110	97*	97	102	102
133	144	144	114	106	110	110	144	144	144	114	114	106	106
125	114	114	114	106	110	110	144	144	144	114	114	106	106
117	93	114	110	110	110	103	114	114	114	114	114	106	106
Exemplo 2													
124	134	124	112	105	105	117	134	134	124	103	103	114	114
120	134	124	103	114	124	110	129	129	107	107	107	110	110
120	129	107	107	110	97	110	129	129	107	107	107	110	110
119	123	133	144*	110	97	102	123	123	133	144*	144	110	110
119	123	133	144	144	114	106	123	123	133	144	144	110	110
135	135	125	114	114	114	106	123	123	133	144	144	144	144
133	133	117	93	114	110	110	123	123	133	144	144	144	144

Figura A.10 – Matriz de números digitais de um pequeno excerto da imagem de 30 de Abril de 1979 (pixel 57 m) e correspondente matriz para o mesmo excerto de imagem reamostrada para 30m através do método do vizinho mais próximo. O pixel central do excerto da imagem está assinalado com um asterisco.

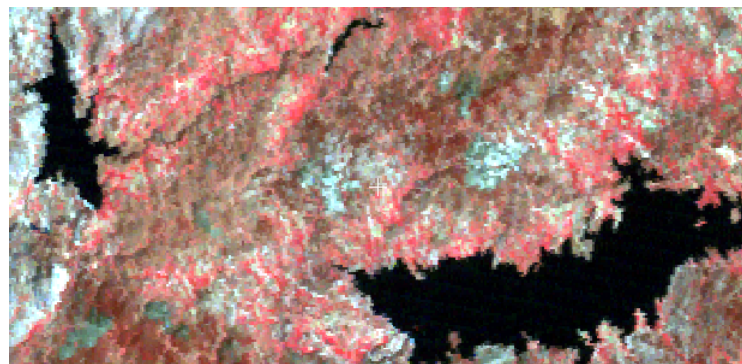
ANEXO 17



6.250 3.125 0 6.250 Metros



(a)



(b)

Figura A.11 – Imagem Landsat 2 MSS de 30 de Abril de 1979 (3:2:1), com pixel 57m, (a) incluindo todo o concelho de Montalegre e (b) extracto da mesma imagem, focando duas das albufeiras do concelho (canto superior esquerdo: 7°58'26.2''W, 41°48'44.92''N; canto inferior direito: 7°45'09.11''W, 41°43'46.6''N).



7.100 3.550 0 7.100 Metros



(a)



(b)

Figura A.12 – Imagem Landsat 5 TM de 14 de Março de 1989 (4:3:1), pixel 30m, (a) incluindo todo o concelho de Montalegre e (b) extracto da mesma imagem, focando duas das albufeiras do concelho (canto superior esquerdo: 7°58'26.2''W, 41°48'44.92''N; canto inferior direito: 7°45'09.11''W, 41°43'46.6''N).

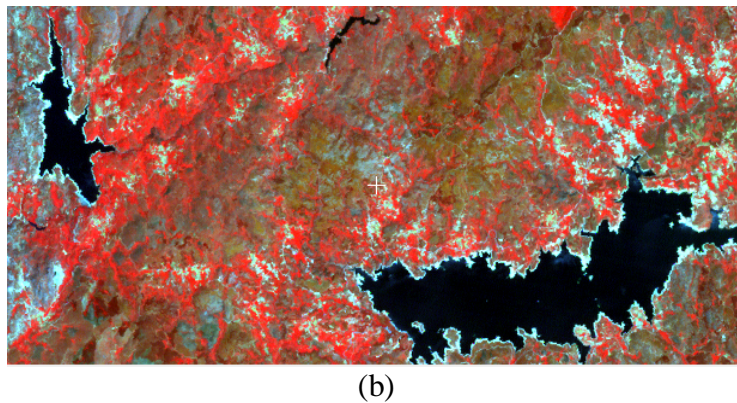
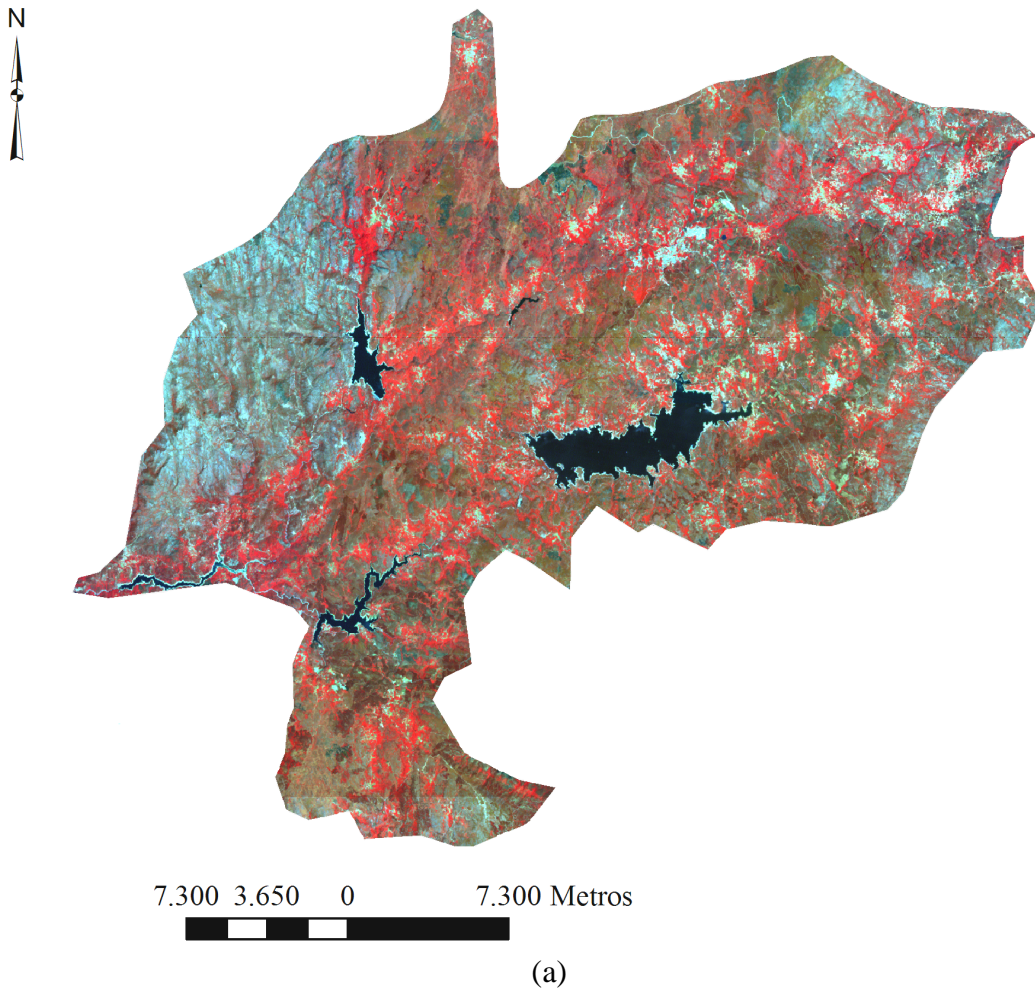


Figura A.13 – Imagem Landsat 7 ETM+ de 29 de Maio de 2002 (4:3:1), pixel 30m, (a) incluindo todo o concelho de Montalegre e (b) extracto da mesma imagem, focando duas das albufeiras do concelho (canto superior esquerdo: $7^{\circ}58'26.2''$ W, $41^{\circ}48'44.92''$ N; canto inferior direito: $7^{\circ}45'09.11''$ W, $41^{\circ}43'46.6''$ N).

A quantidade de água nas albufeiras depende em grande parte da água acumulada pela precipitação. De acordo com os dados do INMG os valores de precipitação no trimestre anterior à captação da imagem de Abril de 1979 foram muito elevados, comparativamente à média de 50 anos, conforme se observa na figura A.13. Também no trimestre anterior à captação da imagem de Maio de 2002 o valor de precipitação foi um pouco superior à média dos 50 anos, registando tendência inversa para Março de 1989 (Figura A.13).

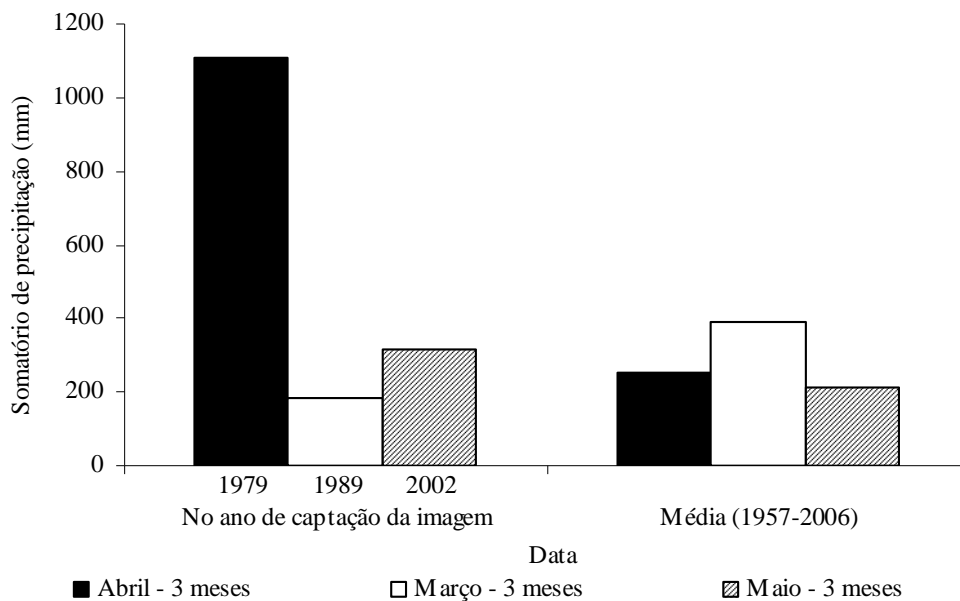


Figura A.13 – Dados do somatório de precipitação nos três meses anteriores à captação de cada uma das imagens de satélite usadas no processo de classificação da paisagem e sua comparação com a média de 50 anos (1957 – 2006) em igual período do ano.