

LANDAU - Metodologia geoestatística para a caracterização da incerteza espacial e actualização de cartas de ocupação do solo

Proposta de uma Nomenclatura de Ocupação do Solo

Action 3.1- Task 3

Relatório de execução

Joel Dinis, Márcia Gonçalves, Rita Nicolau, Rui Reis



Janeiro 2012

ÍNDICE

1	Introdução.....	5
2	Sistemas de Classificação da Ocupação do Solo e Nomenclaturas mais disseminadas.....	5
2.1	Land Cover Classification System (LCCS).....	5
2.2	Nomenclatura CORINE Land Cover.....	6
2.3	Nomenclaturas Global Land Cover 2000 e GLOBCOVER.....	8
2.4	Nomenclatura GLOBCORINE	10
3	Métodos.....	11
4	Resultados.....	15
4.1	Análise da separabilidade espectral.....	15
4.2	Proposta de uma nomenclatura de ocupação do solo: nomenclatura LANDAU	18
5	Discussão e Conclusões	22
6	Referências Bibliográficas	25
	ANEXO I - Medidas de separabilidade espectral entre classes de ocupação do solo da CLC 2006, calculadas com base numa imagem MERIS.....	27
	ANEXO II – Descrição da nomenclatura LANDAU de acordo com o sistema de classificação LCCS e correspondência entre outras nomenclaturas e a nomenclatura LANDAU	31
	ANEXO III – Ilustração de situações de erro cometidas na classificação da ocupação / uso do solo a partir de imagens QuickBird, com base na nomenclatura CLC 2006.....	39

1 Introdução

A produção de mapas de ocupação de solo a partir de metodologias de classificação automática procura tirar partido do conhecimento de que diferentes classes de ocupação do solo apresentam no seu estado mais puro, distintas assinaturas espectrais. A realidade é no entanto mais complexa e inteiramente dependente da resolução espacial a que é apreciada. A existência de múltiplas classes de ocupação/uso do solo interligadas numa área geográfica, pode constituir impedimento ao reconhecimento das assinaturas espectrais dominantes. Deste modo e face às escalas de análise que serão empregues, interessa compreender qual será a capacidade de discriminação de diferentes classes de espaço nas áreas de estudo seleccionadas para produção de mapas de ocupação de solo a partir de metodologias de classificação automática.

O presente relatório descreve as actividades desenvolvidas no âmbito da *Action 3.1 - Task 3* do projecto LANDAU, que visa a proposta de uma nomenclatura de ocupação do solo que seja aplicável na produção de mapas de ocupação de solo a partir de metodologias de classificação automática. A nomenclatura proposta deverá ser adaptada à paisagem Portuguesa e deverá ser funcional nas diferentes resoluções espaciais das imagens empregues no projecto. A nomenclatura proposta deverá ainda ser compatível com o “Land Cover Classification System - LCCS” e com os diversos produtos cartográficos nacionais já existentes (Cartografia de Ocupação do Solo - COS e Cartografia CORINE Land Cover - CLC).

2 Sistemas de Classificação da Ocupação do Solo e Nomenclaturas mais disseminadas

Actualmente existem diversas cartografias de ocupação do solo que caracterizam Portugal Continental. Nesta secção pretende-se descrever as nomenclaturas dos produtos de ocupação do solo mais recentes e importantes que caracterizam o território nacional. Das nomenclaturas citadas, algumas foram desenvolvidas com base no sistema de classificação de ocupação do solo LCCS (Land Cover Classification System), que tem como objectivo principal a descrição normalizada da ocupação de solo.

2.1 Land Cover Classification System (LCCS)

O LCCS é um sistema de classificação de ocupação de solo desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e pelo United

Nations Environment Programme (UNEP), que vai ao encontro da necessidade de informação fiel e normalizada sobre a ocupação de solo.

Trata-se de um sistema de classificação hierárquico, compreensivo, normalizado, construído para dar resposta a requisitos específicos por parte do utilizador, independente da escala e do método de aquisição de dados e capaz de classificar qualquer tipo de ocupação de solo identificado em qualquer parte do mundo.

As classes de ocupação de solo são definidas através da combinação seleccionada de critérios de diagnóstico, chamados de classificadores. Estes classificadores seguem uma hierarquia que facilita não só a correcta identificação das formações a classificar como também a capacidade de se atingir elevados níveis de detalhe geográfico. Esta hierarquia garante ainda a correcta generalização de classes.

Devido à enorme complexidade deste sistema de classificação, foi desenvolvido um software, também denominado LCCS, para assistir o processo de interpretação e classificação da ocupação de solo, reduzindo também a influência subjectiva introduzida por parte do operador no processo de interpretação.

A classificação produzida pelo LCCS atribui a cada classe de ocupação de solo um código alfanumérico, um nome standard e um código numérico. Cada código gerado é específico de cada classe de ocupação e permite a identificação dos classificadores utilizados na geração da classe. A partir destes códigos é possível comparar diferentes nomenclaturas produzidas a partir do LCCS.

2.2 Nomenclatura CORINE Land Cover

A nomenclatura CORINE Land Cover (CLC) nasceu no âmbito do programa CORINE (Co-ORdination of INformation on the Environment), levado a cabo pela Comissão Europeia em 1985. Este programa teve por objectivo a recolha, sistematização e produção de informação ambiental à escala europeia, de modo a satisfazer as necessidades de informação consistente, comparável, pormenorizada, precisa e acessível. Deste programa resultaram as cartografias de ocupação de solo CLC90, CLC2000 e mais recentemente CLC2006.

A nomenclatura CLC classifica a ocupação de solo e parcialmente o uso, de acordo com 44 classes organizadas hierarquicamente em 3 níveis (Bossard *et al.*, 2000). O primeiro nível é composto por 5 classes, às quais correspondem as principais categorias de ocupação/uso do solo. O segundo nível, composto por 15 classes, descreve a um nível intermédio de detalhe as entidades que ocupam a superfície

terrestre. O terceiro e último nível, o de maior detalhe, caracteriza a ocupação/uso do solo através de 44 classes. O Quadro 1 apresenta as classes da nomenclatura CLC2006 em todos os seus níveis.

Quadro 1 – Nomenclatura CLC2006

Nomenclatura CORINE Land Cover		
Nível 1	Nível 2	Nível 3
1 Territórios artificializados	1.1 Tecido urbano	1.1.1 Tecido urbano contínuo
		1.1.2 Tecido urbano descontínuo
	1.2 Indústria, comércio e transportes	1.2.1 Indústria, comércio e equipamentos gerais
		1.2.2 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados
		1.2.3 Áreas portuárias
		1.2.4 Aeroportos e aeródromos
	1.3 Áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	1.3.1 Áreas de extracção de inertes
		1.3.2 Áreas de deposição de resíduos
		1.3.3 Áreas em construção
	1.4 Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas	1.4.1 Espaços verdes urbanos
1.4.2 Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas		
2 Áreas agrícolas e agro-florestais	2.1 Culturas temporárias	2.1.1 Culturas temporárias de sequeiro
		2.1.2 Culturas temporárias de regadio
		2.1.3 Arrozais
	2.2 Culturas permanentes	2.2.1 Vinhas
		2.2.2 Pomares
		2.2.3 Olivais
	2.3 Pastagens permanentes	2.3.1 Pastagens permanentes
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1 Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes
2.4.2 Sistemas culturais e parcelares complexos		
2.4.3 Agricultura com espaços naturais e semi-naturais		
2.4.4 Sistemas agro-florestais		
3 Florestas e meios naturais e semi-naturais	3.1 Florestas	3.1.1 Florestas de folhosas
		3.1.2 Florestas de resinosas
		3.1.3 Florestas mistas
	3.2 Florestas abertas, vegetação arbustiva e herbácea	3.2.1 Vegetação herbácea natural
		3.2.2 Matos
		3.2.3 Vegetação esclerófila
		3.2.4 Florestas abertas, cortes e novas plantações
	3.3 Zonas descobertas e com pouca vegetação	3.3.1 Praias, dunas e areais
		3.3.2 Rocha nua
		3.3.3 Vegetação esparsa
3.3.4 Áreas ardidas		
3.3.5 Neves eternas e glaciares		
4 Zonas húmidas	4.1 Zonas húmidas interiores	4.1.1 Paúis
		4.1.2 Turfeiras
	4.2 Zonas húmidas litorais	4.2.1 Sapais
		4.2.2 Salinas e aquicultura litoral
	4.2.3 Zonas entre-marés	
5 Corpos de água	5.1 Águas interiores	5.1.1 Cursos de água
		5.1.2 Planos de água
	5.2 Águas marinhas e costeiras	5.2.1 Lagoas costeiras
		5.2.2 Desembocaduras fluviais
	5.2.3 Oceano	

Data: Julho 2009, disponível em: <http://www.igeo.pt/qdr/projectos/clc2006/>

Traduzido e adaptado de: Caetano, M., V. Nunes e A. Nunes, 2009. CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal, Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.

O facto da nomenclatura CLC nem sempre descrever a ocupação de solo mas sim o

seu uso, é consequência do grau de detalhe existente, que condicionou a elaboração das classes da nomenclatura, obrigando a que algumas classes caracterizem as actividades decorrentes da acção humana sobre a ocupação de solo.

Neste âmbito, também se encontra disponível para Portugal Continental a Carta de Uso e Ocupação do Solo relativa a 2007 (COS2007). Sendo muito vocacionada para a caracterização do uso do solo, a nomenclatura adoptada na COS2007 coincide no seu nível 3 com o nível 3 da nomenclatura CLC2006, motivo pelo qual não se justifica aqui à sua apresentação.

2.3 Nomenclaturas Global Land Cover 2000 e GLOBCOVER

O produto cartográfico Global Land Cover 2000 (GLC2000) teve como principal objectivo fornecer informação de base sobre ocupação de solo à escala global, quer para utilização em estudos ambientais, quer para apoiar acordos de interesse supranacional dos quais constituem exemplos o protocolo de Quioto e as convenções sobre alterações climáticas. A nomenclatura adoptada para o GLC2000 classifica a ocupação de solo do globo com 22 classes e foi desenvolvida com base no LCCS. O facto de ter sido produzida a partir do LCCS, permitiu que cada parceiro regional responsável por uma parte do projecto global GLC2000, descrevesse a ocupação de solo e a enquadrasse em classes o mais ajustadas possível ao detalhe da sua realidade, mas sempre de uma forma normalizada. A utilização do LCCS possibilitou ainda que classes definidas a um nível regional fossem traduzidas para um nível mais generalizado, ou seja, o nível apresentado na nomenclatura do produto GLC2000 global (Quadro 2).

O projecto GLOBCOVER foi iniciado em 2004, por iniciativa da ESA (European Space Agency) em parceria com diversas entidades internacionais (entre as quais a FAO e a UNEP). Um dos objectivos deste projecto consubstanciou-se em 2005, com a cartografia da ocupação do solo à escala global, gerada a partir de observações recolhidas pelo sensor MERIS (espectrómetro com resolução de 300 metros, a bordo do satélite ENVISAT). O produto GlobCover 2005 foi desenvolvido para complementar e para actualizar a cartografia de ocupação do solo comparável, que até à data se encontrava disponível, designadamente o GLC2000.

Quadro 2 – Nomenclatura GLC2000 global

	GLC Global Class (according to LCCS terminology)
1	Tree Cover, broadleaved, evergreen LCCS >15% tree cover, tree height >3m (Examples of sub-classes at regional level* : closed > 40% tree cover; open 15-40% tree cover)
2	Tree Cover, broadleaved, deciduous, closed
3	Tree Cover, broadleaved, deciduous, open (open 15-40% tree cover)
4	Tree Cover, needle-leaved, evergreen
5	Tree Cover, needle-leaved, deciduous
6	Tree Cover, mixed leaf type
7	Tree Cover, regularly flooded, fresh water (& brackish)
8	Tree Cover, regularly flooded, saline water, (daily variation of water level)
9	Mosaic: Tree cover / Other natural vegetation
10	Tree Cover, burnt
11	Shrub Cover, closed-open, evergreen (Examples of sub-classes at reg. level *: (i) sparse tree layer)
12	Shrub Cover, closed-open, deciduous (Examples of sub-classes at reg. level *: (i) sparse tree layer)
13	Herbaceous Cover, closed-open (Examples of sub-classes at regional level* : (i) natural, (ii) pasture, (iii) sparse trees or shrubs)
14	Sparse Herbaceous or sparse Shrub Cover
15	Regularly flooded Shrub and/or Herbaceous Cover
16	Cultivated and managed areas (Examples of sub-classes at reg. level* : (i) terrestrial; (ii) aquatic (=flooded during cultivation), and under terrestrial: (iii) tree crop & shrubs (perennial), (iv) herbaceous crops (annual), non-irrigated, (v) herbaceous crops (annual), irrigated)
17	Mosaic: Cropland / Tree Cover / Other natural vegetation
18	Mosaic: Cropland / Shrub or Grass Cover
19	Bare Areas
20	Water Bodies (natural & artificial)
21	Snow and Ice (natural & artificial)
22	Artificial surfaces and associated areas

Lançada posteriormente, em 2010, a cartografia de ocupação do solo GlobCover 2009 veio permitir actualizar a GlobCover 2005. A nomenclatura associada aos produtos GlobCover 2005 e GlobCover 2009 (Quadro 3), também utiliza 22 classes para classificar a ocupação de solo de todo o globo e foi igualmente desenvolvida com base no LCCS.

O relatório de validação da cartografia GlobCover 2009 revela uma exactidão global de 70,7% recorrendo a regras de concordância alargadas. A validação foi contudo realizada com uma amostragem simples, o que deixou algumas áreas do mapa sem amostras (Portugal, por exemplo). Contudo, é relevante para o presente estudo ter em conta alguns dos resultados obtidos pela equipa do GLOBCOVER:

- a) As classes *Bare areas*, *closed to open broadleaved evergreen forest* e *Snow and ice*, são as classes que apresentam menos problemas de confusão, por possuírem um comportamento homogéneo e serem facilmente reconhecidas. Este resultado sugere que uma classe composta maioritariamente por solo nu tenderá a ser bem classificada;
- b) As classes de agricultura (*Flooding and irrigated croplands* e *Mosaic cropland / vegetation*) e a classe *Grassland* confundem-se entre si. Este resultado sugere

que a classificação de zonas agrícolas complexas apresenta dificuldades de realização;

- c) As classes de floresta (*Evergreen and deciduous forests* e *Broadleaved and needleleaved forests*) apresentam entre si grande confusão espectral apesar do uso de informação multi-temporal. Este resultado aponta para possíveis problemas de discriminação das classes de floresta (floresta mista, floresta de resinosas e floresta de folhosas).

Quadro 3 – Nomenclatura GlobCover 2005 e GlobCover 2009

Class	Globcover Label
11	Post-flooding or irrigated croplands
14	Rainfed croplands
20	Mosaic cropland (50-70%) / vegetation (grassland / shrubland / forest) (20-50%)
30	Mosaic vegetation (grassland / shrubland / forest) (50-70%) / cropland (20-50%)
40	Closed to open (>15%) broadleaved evergreen and/or semi-deciduous forest (>5m)
50	Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5m)
60	Open (15-40%) broadleaved deciduous forest/woodland (>5m)
70	Closed (>40%) needle-leaved evergreen forest (>5m)
90	Open (15-40%) needle-leaved deciduous or evergreen forest (>5m)
100	Closed to open (>15%) mixed broadleaved and needleleaved forest
110	Mosaic forest or shrubland (50-70%) and grassland (20-50%)
120	Mosaic grassland (50-70%) and forest or shrubland (20-50%)
130	Closed to open (>15%) shrubland (<5m)
140	Closed to open (>15%) grassland
150	Sparse (<15%) vegetation
160	Closed (>40%) broadleaved forest regularly flooded, fresh water
170	Closed (>40%) broadleaved semi-deciduous and/or evergreen forest regularly flooded, saline water
180	Closed to open (>15%) grassland or shrubland or woody vgt on regularly flooded or waterlogged soil, fresh, brakish or saline water
190	Artificial surfaces and associated areas (Urban areas >50%)
200	Bare areas
210	Water bodies
220	Permanent Snow and Ice

2.4 Nomenclatura GLOBCORINE

Igualmente resultante de uma iniciativa da ESA, em parceria com a Universidade Católica de Louvain, o projecto GLOBCORINE (<http://ionia1.esrin.esa.int/globcorine/>) também disponibiliza cartografia de ocupação/uso do solo à escala pan-europeia (com uma resolução de 300 m x 300 m), desenvolvida a partir de dados MERIS pré-processados no âmbito do projecto GLOBCOVER.

Actualmente existem dois produtos cartográficos derivados deste projecto: o GlobCorine 2005 que cobre 27 países da União Europeia e o GlobCorine 2009 que

abrange o Azerbaijão, a Geórgia e a Arménia, para além dos países já incluídos na versão de 2005.

A produção destes produtos foi realizada através de classificação de mosaicos multi-espectrais MERIS, relativos ao período de Dezembro de 2004 a Junho de 2006 na versão de 2005, e ao ano de 2009 na versão 2009.

A nomenclatura associada à cartografia GlobCorine (Defourny et al., 2010) utiliza 14 classes para classificar a ocupação de solo (Quadro 4). Na sua concepção procurou-se respeitar sempre que possível a nomenclatura agregada da CLC, obedecendo no entanto a uma estrutura baseada no LCCS.

Quadro 4 – Nomenclatura GlobCorine e sua correspondência com o nível 3 da nomenclatura CLC

VALUE GlobCorine	LABEL GlobCorine	CLC – Nível 3
10	Urban and associated areas	111 + 112 + 121 + 122 + 123 + 124 + 131 + 132 + 133 + 141 + 142
20	Rainfed cropland	211 + 221 + 222 + 223
30	Irrigated cropland	212 + 213
40	Forest	311 + 312 + 313
50	Heathland and sclerophyllous vegetation	322 + 323
60	Grassland	231 + 321
70	Sparsely vegetated area	333
80	Vegetated low-lying areas on regularly flooded soil	411 + 412 + 421 + 423
90	Bare areas	332 + 331
100	Complex cropland	241 + 242
110	Mosaic cropland / natural vegetation	243 + 244
120	Mosaic of natural (herbaceous, shrub, tree) vegetation	324
200	Water bodies	511+ 512 + 521 + 522 + 523
210	Permanent snow and ice	335

Na validação da GlobCorine alcançou-se uma exactidão global de 80%. Esta validação foi no entanto realizada com recurso a uma amostragem simples, o que originou áreas com baixa densidade amostral, como no caso de Portugal. Ainda assim, os resultados de validação desta cartografia devem ser tidos em conta, porque sugerem problemas de classificação que se poderão reproduzir na adopção da nomenclatura proposta através do presente estudo. Em particular, o relatório de validação da GlobCorine aponta para problemas de discriminação nalgumas classes da nomenclatura, como por exemplo, na classe *Grassland* (33,3% de exactidão na perspectiva do utilizador e grande confusão com a classe *Rainfed Cropland*), e na classe *Sparsely Vegetated Area* (36,8% de exactidão na perspectiva do utilizador, com grande confusão com *Mosaic Cropland / Natural Vegetation*).

3 Métodos

A nomenclatura de ocupação do solo proposta no presente trabalho fundamentou-se na análise da separabilidade espectral de classes de espaço associadas aos níveis 2 e

3 da cartografia Corine Land Cover 2006 (CLC 2006). Enquanto que o nível 2 da CLC 2006 abrange 15 classes de ocupação do solo, o nível 3 inclui 44 classes, das quais somente 42 estão representadas no território nacional.

A análise da separabilidade espectral de classes de ocupação do solo foi desenvolvida com base no cálculo da distância de Jeffries-Matusita (Richards & Jia, 2006, pag. 273) e com recurso a dados de satélite de média e de muito elevada resolução espacial, designadamente MERIS e QUICKBIRD.

Atendendo a que as assinaturas espectrais de diferentes classes de ocupação do solo revelam algum grau de sobreposição e assumindo uma função densidade de probabilidade Normal para cada classe espectral, a métrica de Jeffries-Matusita disponibiliza uma medida da distância média entre as funções densidade de pares de classes espectrais e reflecte a probabilidade de duas classes serem confundidas na classificação.

Sejam μ_i e μ_j os vectores médios de duas classes de ocupação / uso do solo, i e j, e Σ_i e Σ_j as matrizes de variância-covariância das respectivas classes. Nestas condições, a distância de Jeffries-Matusita é dada por:

$$J_{ij} = 2(1 - e^{-B_{ij}})$$

Onde B_{ij} é a distância de Bhattacharyya entre as duas classes, dada por:

$$B_{ij} = \frac{1}{8} (\mu_i - \mu_j)^T \left(\frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right)^{-1} (\mu_i - \mu_j) + \frac{1}{2} \log \frac{\left| \frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right|}{\sqrt{|\Sigma_i| |\Sigma_j|}}$$

A distância de Bhattacharyya é uma métrica, e nesse sentido variará entre zero (classes iguais) e infinito positivo (infinitamente afastadas). Assim, a distância de Jeffries-Matusita varia entre 0 e 2, podendo-se assumir que para valores superiores a 1,7 existirá uma reduzida probabilidade do classificador confundir as duas classes espectrais em análise, porque os centróides das classes encontram-se suficientemente afastadas e a área de sobreposição é desprezável. Valores da distância de Jeffries-Matusita contidos entre 1 e 1,7 expressam uma maior probabilidade do classificador confundir as duas classes espectrais em apreciação, muito embora ainda seja razoável proceder à sua separação. Valores abaixo da unidade são indesejáveis, porque indicam que as classes espectrais em apreciação apresentam centróides muito

próximos e áreas de sobreposição elevadas, o que torna a discriminação das classes problemática.

Por vezes, é útil conhecer a distância de Jeffries-Matusita média, que pode ser determinada através da seguinte expressão:

$$J_{avg} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \pi_i \pi_j J_{ij}$$

Em que N é o número de classes da nomenclatura, π_i e π_j são as probabilidades *a priori* das classes i e j, respectivamente. Se considerarmos que as classes possuem igual probabilidade *a priori* de serem classificadas, então $\pi_i = 1/N$ para toda a classe i.

Para o cálculo das distâncias de Jeffries-Matusita é necessário proceder à recolha de amostras das diferentes classes de ocupação do solo disponíveis nas imagens de satélite que se pretende classificar, de modo a estimar os vectores médios e as matrizes de variância-covariância de cada classe.

De entre as três escalas de análise utilizadas no projecto LANDAU (média, elevada e muito elevada resolução espacial), a proporcionada por dados do sensor MERIS é sem dúvida a que apresenta pixels com sinais espectrais mais heterogéneos devido à dimensão dos seus pixels (300 m x 300 m). Ou seja, a possibilidade de num pixel desta resolução coexistirem múltiplas classes de espaço é muito elevada, tornando difícil o reconhecimento de uma assinatura espectral com comportamento Normal para diferentes classes de espaço, particularmente em paisagens fragmentadas como as do norte de Portugal Continental. Devido a este facto, foi sobre uma imagem obtida a partir do sensor MERIS, que cobre a totalidade do Continente, que inicialmente se lançaram amostras aleatórias de 500 pontos sobre cada uma das classes de espaço de nível 3 da cartografia CLC 2006, de modo a obter um total de 21 000 pontos. Na sequência desta amostragem, procedeu-se ao cálculo das distâncias entre os pares formados pelas 42 classes de espaço disponíveis. A análise destes resultados permitiu evidenciar classes de ocupação do solo de nível 3 que são de difícil discriminação devido à sua proximidade espectral.

As amostras recolhidas da imagem associada ao sensor MERIS, foram ainda utilizadas na análise da separabilidade espectral das 15 classes de ocupação do solo previstas pelo nível 2 da cartografia CLC 2006. A análise dos resultados obtidos neste âmbito

permitiu destacar classes de ocupação do solo de nível 2 que poderão ser agrupadas face à dificuldade na sua discriminação.

Com as imagens QuickBird procedeu-se a uma análise diferente. Em vez de se repetir o exercício de separabilidade a esta escala, procedeu-se à produção de três mapas de ocupação / uso do solo: um para cada uma das três áreas de estudo do projecto, de modo a observar possíveis problemas de classificação originados pela existência de elementos de superfície (tais como sombras) que não têm representatividade à escala da MERIS, mas que são representativos à escala das imagens QuickBird.

Esta análise é relevante porque, uma nomenclatura completamente baseada em dados com a resolução de uma imagem MERIS não é exaustiva e o seu carácter mais genérico irá necessariamente introduzir erros de classificação quando for aplicada a uma escala mais detalhada, como a proporcionada pelas imagens QuickBird.

A amostragem para este exercício foi distinta da anterior, tendo-se procedido do seguinte modo: em cada uma das três áreas de estudo do projecto (E, J e A) delimitaram-se os polígonos correspondentes a classes de espaço de nível 3, da cartografia CLC 2006, que estavam presentes na imagem QUICKBIRD. Através da inspecção visual de cada polígono, a interprete avaliou a pertinência da sua inclusão ou não como representante da classe de ocupação/uso na amostra da imagem. De cada polígono, cuja selecção foi considerada pertinente, extraiu-se um sub-polígono que constituísse um representante mais fidedigno da classe de ocupação do solo em causa. Sobre cada sub-polígono lançaram amostras aleatórias de 1000 pontos, o que corresponde a uma amostragem de 1000 pontos por classe de espaço de nível 3, identificada em cada área de estudo.

Assim, na área de estudo E, situada a norte do Continente, foram identificados 13 sub-polígonos representativos de 13 classes de espaço de nível 3 da cartografia CLC 2006, tendo-se recolhido um total de 13 000 amostras. Um número idêntico de amostras foi recolhido na área de estudo J, situada nos concelhos de Peniche e Lourinhã, onde também se identificaram 13 classes de espaço de nível 3 da cartografia CLC 2006. Na área de estudo A, localizada no Alentejo, apenas se identificaram 9 classes de espaço de nível 3 da cartografia CLC 2006, tendo-se recolhido 9000 amostras.

Para a produção dos mapas de ocupação do solo afectos a cada área de estudo (vide Anexo III – Figura III.6), recorreu-se a dois classificadores de construção estatística, o *Linear Discriminant Classifier* e o *Quadratic Discriminant Classifier*. Embora os mapas

produzidos não tenham sido estatisticamente validados, porque tal implicaria a recolha demorada de uma amostra de validação, a identificação dos erros de classificação mais pertinentes foi realizada através de uma inspecção visual recorrendo a ortofotos (cobertura IGP) e ao *Google Earth*.

Com base nas evidências produzidas pela análise da separabilidade espectral das classes de ocupação do solo (média resolução) e mapas preliminares (muito elevada resolução), procedeu-se por fim à proposta da nomenclatura de ocupação do solo que se apresenta na secção 4.2.

4 Resultados

O presente capítulo está dividido em duas secções. Na primeira apresentam-se os resultados da análise de separabilidade espectral e na segunda propõe-se uma nomenclatura de ocupação do solo ajustada aos objectivos do projecto.

4.1 Análise da separabilidade espectral

No Anexo I disponibilizam-se as distâncias de Jeffries-Matusita para cada par de classes de nível 2 e de nível 3 da cartografia CLC 2006. As distâncias apresentadas foram calculadas recorrendo a imagens MERIS.

Os resultados relativos às distâncias de Jeffries-Matusita entre classes de nível 2 da CLC 2006 revelam uma proximidade média de 0,59, enquanto que a distância média entre classes de nível 3 é de 0,73. Esta diferença de resultados é consequência da generalidade inerente às classes do segundo nível. De facto, com a agregação ao segundo nível, as classes de ocupação / uso do solo ganham generalidade conceptual, quando comparadas com as do terceiro nível. Este ganho de generalidade implica um ganho de heterogeneidade no sinal espectral, que resulta da composição de diferentes classes de ocupação / uso do solo, com diferentes respostas espectrais. Deste modo, as classes de nível 2 da CLC 2006 tenderão a possuir uma maior variabilidade espectral, o que se traduz numa maior sobreposição com outras classes de nível 2, e consequentemente maior proximidade espectral.

Por outro lado, ao terceiro nível, as classes são definidas com mais detalhe. Esse detalhe pode ser, nalguns casos, uma mais valia uma vez que força a amostragem a um sinal mais próximo do registo Normal. Por exemplo, ao segundo nível a classe 1.1 (tecido urbano) encontra-se muito próximo das classes 1.2 (indústria, comércio e transportes), 1.3 (áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e

estaleiros de construção) e 1.4 (espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas), mas ao terceiro nível é possível discriminar a subclasse 1.1.1 (tecido urbano contínuo) das restantes classes. Isto é coerente, uma vez que a classe 1.1 é composta por uma variedade de materiais (telhados de zinco, estradas de alcatrão, áreas de extracção de inertes, etc..) que possuem diferentes respostas espectrais. Contudo, a classe 1.1.1 já possui detalhe conceptual suficiente para restringir a amostragem a uma representação Normal.

Noutras subclasses de nível 3, o ganho de detalhe da definição da classe deve-se ao facto do uso do solo ser predominante sobre a ocupação de solo e, nesses casos, pode ocorrer sobreposição de assinaturas espectrais devido à existência de classes de espaço com diferentes usos mas com ocupações semelhantes, e portanto assinaturas espectrais também elas semelhantes. Tal é o caso das pastagens permanentes (2.3.1) que possuem uma assinatura espectral similar à da vegetação herbácea natural (3.2.1). Outro exemplo, verifica-se ao nível da classe 2.4 (áreas agrícolas heterogéneas) que se encontra muito próxima da maioria das classes de agricultura (2.1 e 2.2) e de floresta (3.1).

As figuras disponibilizadas no Anexo IV ilustram alguns dos aspectos mencionados e fundamentam as conclusões seguidamente apresentadas.

Recorrendo aos resultados da análise de separabilidade, concluí-se que:

- a) Nas classes de urbano, a classe 1.1.1 (tecido urbano contínuo) possui uma boa separabilidade, havendo apenas proximidade às classes 1.1.2 (tecido urbano descontínuo) e 1.2.1 (indústria, comércio e equipamentos gerais). Estas confusões são compreensíveis devido à semelhança dos elementos de superfície que compreendem as classes 1.1.2 e 1.2.1. As restantes classes de expressão urbana são mais problemáticas, por se confundirem com outras classes artificializadas.
- b) Nas classes agrícolas temporárias (2.1), são relevantes dois pontos:
 - A classe 2.1.2 (culturas temporárias de regadio) apresenta grande proximidade a classes de expressão artificial (1.4.1 espaços verdes urbanos);
 - As classes CLC de nível 3 relativas a culturas temporárias (2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3) apresentam igualmente grande proximidade espectral entre si.

Estes resultados podem ser parcialmente explicados pelo facto da generalidade dos polígonos da cartografia CLC abarcar uma grande variedade de elementos de superfície, principalmente em classes que usualmente possuem pequena extensão espacial.

- c) As culturas permanentes (2.2) apresentam problemas de separabilidade principalmente nas classes 2.2.2 (pomares) e 2.2.3 (olivais), que se confundem com as culturas temporárias de sequeiro (2.1.1). Tal é causado pelo domínio do substracto sobre a copa.
- d) As classes de agricultura complexa (2.4), também designadas de áreas agrícolas heterogéneas, são das mais problemáticas. Na sua definição estas classes incluem diferentes tipos de ocupação e uso, o que torna a sua caracterização por meio do modelo Normal uma tarefa difícil. Assim, em função da densidade de ocupação, estas classes podem ter uma resposta mais próxima de uma resposta de tipo floresta (3.1) ou de um substracto do tipo agrícola (2.1, 2.2 e 2.3).
- e) As subclasses 3.1.1 (florestas de folhosas), 3.1.2 (florestas de resinosas) e 3.1.3 (florestas mistas) também revelam uma elevada proximidade espectral entre si, particularmente entre 3.1.3 e 3.1.2.
- f) As classes de terceiro nível pertencentes a 3.2 (florestas abertas, vegetação arbustiva e herbácea), em particular a classe 3.2.4 (florestas abertas, cortes e novas plantações), apresentam uma grande proximidade com as classes de terceiro nível integradas em áreas agrícolas heterogéneas (2.4) e com as florestas (3.1). Estas sobreposições são expectáveis devido à composição das classes 3.2.
- g) Nas classes 3.3 (zonas descobertas e com pouca vegetação) a rocha nua (3.3.2) e as praias, dunas e areais (3.3.1) apresentam uma proximidade natural com as áreas de extracção de inertes (1.3.1).
- h) As classes áreas ardidas (3.3.4), corpos de água (5) e zonas húmidas (4), denotam igualmente problemas de separabilidade espectáveis. A dificuldade de discriminar cursos de água de vias de comunicação, apesar de estranha, é esperada uma vez que os cursos de água e o alcatrão apresentam respostas escuras muito similares.

A análise de separabilidade disponibiliza uma previsão, de natureza teórica, sobre a proximidade das classes e, em última análise, da probabilidade de erro de um classificador estatístico. Existem contudo dificuldades adicionais que decorrem da adequação da nomenclatura proposta às diferentes escalas de análise empregues na classificação da ocupação do solo, nomeadamente à escala dos dados de muito elevada resolução espacial. Tais aspectos serão debatidos no capítulo 5.

4.2 Proposta de uma nomenclatura de ocupação do solo: nomenclatura LANDAU

A nomenclatura proposta foi desenvolvida com base na análise da separabilidade das classes CLC 2006 através de dados MERIS. Para além desta análise teve-se em conta as classificações preliminares do uso do solo produzidas através de dados QuickBird, bem como trabalhos prévios sobre a temática e as cartografias disponíveis (CLC 2006, GlobCover e GlobCorine).

Adoptando a nomenclatura CLC 2006 desagregada ao terceiro nível como ponto de partida, recorreu-se ainda aos seguintes critérios para a definição das classes da nomenclatura LANDAU:

- a) Procedeu-se à junção de classes de resposta espectral semelhante sempre que estas fossem conceptualmente compatíveis (por exemplo: praias, dunas e areais com zonas de extracção de inertes agregadas na classe solo nu);
- b) Optou-se por manter desagregadas classes que apresentavam proximidade espectral à escala dos dados MERIS, sempre que tal proximidade dependesse da densidade de ocupação (por exemplo: florestas de folhosas, florestas de resinosas e florestas mistas);
- c) Procurou-se manter uma nomenclatura o mais desagregada possível nas ocupações de carácter florestal.

A nomenclatura proposta é descrita no Quadro 5.

Quadro 5 – Nomenclatura LANDAU

Classes LANDAU	Descrição
1 Territórios Artificializados	Superfícies artificializadas destinadas a actividades relacionadas com as sociedades humanas. Esta classe inclui áreas de tecido urbano, áreas industriais, áreas comerciais, rede rodoviária e ferroviária, áreas de serviços. Consiste essencialmente em zonas construídas de tipologia urbana (casas, edifícios, áreas de estacionamento, logradouros, etc.). Estas zonas podem ser classificadas em áreas artificiais contínuas e áreas artificiais descontínuas.
1.1 Áreas Artificiais Contínuas	Áreas de tecido urbano com superfície total impermeabilizada superior ou igual a 80%. Inclui centros urbanos e subúrbios em que os edifícios formam um tecido contínuo e homogéneo, bem como áreas de estacionamento, logradouros, áreas cobertas de betão ou asfalto, etc.
1.2 Áreas Artificiais Descontínuas	Áreas de tecido urbano nas quais a superfície impermeabilizada ocupa uma área superior ou igual a 50% e inferior a 80% da superfície total.
2 Áreas Agrícolas	Áreas utilizadas para a agricultura, constituídas por culturas temporárias e culturas permanentes. Inclui culturas irrigadas, não irrigadas e culturas em campos inundados.
2.1 Agricultura de Regadio	Culturas temporárias irrigadas de forma artificial permanentemente ou não, utilizando com frequência infra-estruturas permanentes de rega (e.g. canais de irrigação, redes de drenagem, pivôs de rega). Este tipo de culturas pode também recorrer a estruturas de rega tradicionais (e.g. sulcos para rega por gravidade).
2.2 Agricultura de Sequeiro	Áreas ocupadas por culturas temporárias de sequeiro que não utilizam qualquer tipo de rega artificial. Inclui culturas permanentes (vinhas, pomares, olivais).
2.3 Arrozais	Áreas de uso agrícola preparadas para o cultivo de arroz, localizando-se normalmente na proximidade de planos de água e estando periodicamente inundadas.
3 Florestas e Meios Naturais e Semi-Naturais	Áreas onde se incluem florestas, vegetação arbustiva e herbácea e áreas naturais com pouco, ou mais raramente, nenhum coberto vegetal.
3.1 Floresta de Folhosas	Áreas ocupadas por conjuntos de árvores florestais, com uma altura igual ou superior a 5m e no seu conjunto constituir uma área com grau de coberto igual ou superior a 30%, em que as espécies arbóreas são angiospérmicas.
3.2 Floresta de Resinosas	Áreas ocupadas por conjuntos de árvores florestais, com uma altura igual ou superior a 5m e no seu conjunto constituir uma área com grau de coberto igual ou superior a 30%, em que as espécies arbóreas são gimnospérmicas.
3.3 Floresta Mista	Florestas compostas por uma mistura de folhosas e resinosas.
3.4 Vegetação Herbácea	Áreas ocupadas com vegetação essencialmente do tipo herbácea. Inclui pastagens permanentes, pastagens espontâneas pobres e vegetação herbácea natural.
3.5 Matos	Áreas naturais de vegetação arbustiva espontânea, pouco ou muito densa. Inclui matos e vegetação esclerófito.
3.6 Vegetação Esparsa	Áreas naturais com pouca ou nenhuma vegetação. Inclui superfícies rochosas e áreas de vegetação esparsa em que a superfície com vegetação ocupa uma área igual ou inferior a 10%.
4 Solo Nu	Áreas naturais ou artificializadas sem qualquer cobertura vegetal. Estão incluídas praias, dunas e areais, assim como áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e áreas em construção.
5 Áreas Ardidas	Áreas recentemente ardidas em zonas florestais e de vegetação natural e semi-natural, que na imagem ainda apresentam um aspecto negro.
6 Zonas Húmidas	Zonas húmidas interiores que incluem zonas apaúladas e turfeiras; zonas húmidas litorais que incluem sapais, juncais e caniçais halófitos; salinas e zonas entre marés.
7 Corpos de Água	Superfícies de água doce que incluem cursos de água e planos de água, naturais e artificiais; superfícies de água salgada, que incluem oceanos, e/ou de água salobra que incluem lagoas costeiras e desembocaduras fluviais.

No Anexo II descreve-se a nomenclatura LANDAU com base no sistema de classificação de ocupação de solo LCCS e apresenta-se a correspondência entre a nomenclatura LANDAU e outras nomenclaturas, designadamente GLC2000, GlobCover e GlobCorine.

No quadro 6 apresenta-se a correspondência entre a nomenclatura LANDAU e a nomenclatura de terceiro nível da cartografia CLC 2006.

Quadro 6 – Nomenclatura LANDAU e sua correspondência com o nível 3 da nomenclatura CLC

LANDAU – Nível 1	LANDAU – Nível 2	CLC – Nível 3
1 Artificial Areas (Territórios Artificializados)	1.1 Continuous Artificial Areas (Áreas Artificiais Contínuas)	1.1.1 + 1.2.1 + 1.2.2 + 1.2.3 + 1.2.4
	1.2 Discontinuous Artificial Areas (Áreas Artificiais Descontínuas)	1.1.2 + 1.4.1 + 1.4.2
2 Croplands (Áreas Agrícolas)	2.1 Irrigated Agriculture (Agricultura de Regadio)	2.1.2
	2.2 Non-irrigated Agriculture (Agricultura de Sequeiro)	2.1.1 + 2.2.1 + 2.2.2 + 2.2.3 + 2.4.1 + 2.4.2
	2.3 Rice Crops (Arrozais)	2.1.3
3 Natural and Semi-natural Vegetated Areas (Florestas e Meios Naturais e Semi-naturais)	3.1 Broadleaved Forest (Floresta de Folhosas)	3.1.1
	3.2 Coniferous Forest (Floresta de Resinosas)	3.1.2
	3.3 Mixed Forest (Floresta Mistas)	3.1.3
	3.4 Grassland (Vegetação Herbácea)	2.3.1 + 3.2.1 + 2.4.4
	3.5 Shrubland (Matos)	3.2.2 + 3.2.3 + 2.4.3 + 3.2.4
	3.6 Baren to Sparsely Vegetated Areas (Vegetação Esparsa)	3.3.2 + 3.3.3
4 Bare Land (Solo Nu)	4 Bare Land (Solo Nu)	3.3.1 + 1.3.1 + 1.3.2 + 1.3.3
5 Burnt Areas (Áreas Ardidas)	5 Burnt Areas (Áreas Ardidas)	3.3.4
6 Wetlands (Zonas Húmidas)	6 Wetlands (Zonas Húmidas)	4.1.1 + 4.1.2 + 4.2.1 + 4.2.3
7 Water bodies (Corpos de Água)	7 Water bodies (Corpos de Água)	5.1.1 + 5.1.2 + 5.2.1 + 5.2.2 + 5.2.3

NOTA: A negrito-italico apresentam-se classes de espaço da nomenclatura CLC nível 3 para as quais não existe uma correspondência a uma só classe da nomenclatura LANDAU.

O produto CLC é um produto vectorial com uma unidade mínima cartográfica de 25 hectares. Neste sentido, nenhuma das resoluções em estudo se equipara à baixa resolução deste produto. Na área correspondente a cada polígono da cartografia CLC, qualquer das imagens utilizadas neste estudo apresenta grande variabilidade de ocupação e de respostas espectrais. Acresce que as classes do terceiro nível da cartografia CLC estão associadas a definições onde predominam condições de uso do solo. Assim, a correspondência entre a nomenclatura proposta e a nomenclatura CLC nível 3 pode não ser biunívoca. Consequentemente, existem classes CLC nível 3 que, em função da resolução e/ou da sua localização geográfica, poderão ser mais adequadamente associadas a classes da nomenclatura LANDAU, distintas das acima especificadas.

Contudo, na construção da correspondência apresentada no Quadro 6 procurou-se, sempre que possível, conciliar as definições das classes com a sua resposta espectral, de modo a associar classes CLC a classes LANDAU que sejam espectralmente semelhantes. Vejamos alguns exemplos:

- a) As classes CLC 4.X.X e 5.X.X, respectivamente, zonas húmidas e corpos de água, não apresentam problemas significativos, uma vez que as definições são

directamente correspondentes e as respostas espectrais são suficientemente distintas das restantes e entre si;

- b) As classes CLC 2.1.2 (culturas temporárias de regadio), 2.1.3 (arrozais), 3.1.1 (florestas de folhosas), 3.1.2 (florestas de resinosas), 3.1.3 (florestas mistas) e 3.3.4 (áreas áridas) têm correspondência directa e biunívoca com subclasses da nomenclatura proposta;
- c) As classes CLC 2.1.1 (culturas temporárias de sequeiro), 2.2.1 (vinhas), 2.2.2 (pomares) e 2.2.3 (olivais) encontram correspondência na subclasse LANDAU 2.2 (agricultura de sequeiro) devido à sua definição e à semelhança espectral do elemento de superfície dominante (o substracto);
- d) As classes CLC 1.1.1 (tecido urbano contínuo) e 1.1.2 (tecido urbano descontínuo) estão directamente associadas às subclasses LANDAU 1.1 (áreas artificiais contínuas) e 1.2 (áreas artificiais descontínuas).

Tal como referido, as classes CLC representadas a **negrito-italico** apresentam dificuldades de correspondência a uma e uma só classe da nomenclatura LANDAU por diversas razões, nomeadamente, definições baseadas em condições de uso em vez de ocupação e a variabilidade das espécies dominantes dentro da mesma classe de espaço em função da localização geográfica. Segue-se uma breve apreciação de cada um dos casos.

As classes CLC 1.2.1 (indústria, comércio e equipamentos gerais), 1.2.2 (redes viárias e ferroviárias e espaços associados), 1.2.3 (áreas portuárias) e 1.2.4 (aeroportos e aeródromos) apresentam definições onde predominam as condições de uso e não possuem uma resposta espectral uniforme. Em particular, a classe 1.2.2 apresenta uma resposta espectral predominantemente escura, enquanto que a classe 1.2.1 tende a responder com um sinal muito brilhante. Contudo, a média resolução e a elevada resolução, estas classes ou não possuem expressão ou apresentam pequena extensão, motivo pelo qual se optou pela sua associação à subclasse da nomenclatura LANDAU conceptualmente mais próxima (1.1).

As classes CLC 1.4.1 (espaços verdes urbanos) e 1.4.2 (equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas) são definidas recorrendo a condições de uso e possuem respostas espectrais muito próximas a classes de carácter agrícola, como é o caso da agricultura de regadio (ver secção 5). No entanto, estas classes tendem a ter pouca representatividade com dados de média e elevada resolução, pelo que também

se optou pela sua associação à subclasse LANDAU conceptualmente mais próxima (1.2).

As classes CLC 2.4.1 (culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes) e 2.4.2 (sistemas culturais e parcelares complexos) apresentam uma heterogeneidade de ocupação, cuja definição resulta de proporções de ocupação. Nessas proporções imperam as culturas de sequeiro e as culturas de substrato herbáceo. Deste modo, optou-se por associá-las à subclasse LANDAU de carácter agrícola com predomínio da cultura de sequeiro (2.2).

Na classe CLC 2.4.4 (sistemas agro-florestais), conhecida em Portugal como Montados, observa-se um domínio espectral do substrato. Este é maioritariamente composto por vegetação herbácea natural ou por vegetação herbácea artificialmente mantida para pastagens. Dando primazia ao substrato, optou-se por associar esta classe com a subclasse da nomenclatura LANDAU que mais se aproxima daquele tipo de substrato (3.4 vegetação herbácea).

As classes CLC 2.4.3 (agricultura com espaços naturais e semi-naturais) e 3.2.4 (florestas abertas, cortes e novas plantações, em inglês *transitional woodland-shrub*) apresentam uma definição muito complexa e lata. Em Portugal estas classes são dominadas por elementos florestais como os matos. Em particular, a classe 2.4.3 predomina em zonas serranas. Apesar de ambas incluírem ocupação agrícola, a preponderância de elementos florestais como os matos, fundamentou a sua associação à subclasse 3.5 da nomenclatura LANDAU (matos).

5 Discussão e Conclusões

Tal como já referido, a nomenclatura proposta foi maioritariamente fundamentada na análise da separabilidade espectral de informação associada a uma imagem MERIS. A selecção deste tipo de imagem deveu-se ao facto da escala de análise facultada pela MERIS ser a menos detalhada, e conseqüentemente a mais restritiva para a classificação da ocupação do solo, de entre as três escalas de análise previstas no projecto LANDAU. A nomenclatura proposta deverá no entanto ser funcional a múltiplas escalas de análise, nomeadamente à escala de análise facultada por imagens de muito elevada resolução espacial (QuickBird). A adequação da nomenclatura LANDAU à classificação da ocupação do solo baseada em imagens de resolução espacial superior à da MERIS coloca problemas que importa discutir.

Crê-se que uma nomenclatura que se pretende descritiva da paisagem à escala

nacional (escala de análise da MERIS), irá introduzir erros de classificação quando aplicada a uma escala local (escala de análise das QuickBird) e conseqüentemente, mostrar-se-á menos adequada nessas condições. Alguns dos erros espectáveis podem ser originados por elementos de superfície, as sombras por exemplo, que não possuem representatividade a uma escala de análise pouco detalhada, mas que exibem expressão espectral numa escala mais detalhada, e serão portanto classificados em classes desadequadas. O segundo tipo de erros espectáveis decorre da similaridade de assinaturas espectrais entre classes de espaço. O terceiro tipo de erros pode resultar da inexistência de imagens multi-temporais sobre a mesma área de estudo, o que não permite uma modelação adequada da dinâmica anual do coberto vegetal.

Atendendo a que as três áreas de estudo seleccionadas, são representativas da variabilidade paisagística do território nacional, pode-se admitir que os erros cometidos na classificação de imagens QuickBird com base na nomenclatura proposta são extrapoláveis para o restante do território. De modo a identificar tais erros, efectuou-se uma classificação preliminar da ocupação / uso do solo nas três áreas de estudo do projecto, com recurso às imagens citadas (vide Anexo III - Figuras III.6).

Face ao exposto, tipificam-se os erros de classificação mais frequentes:

- a) Zonas de terra encharcada, seja de natureza agrícola ou natural (exemplo: zonas húmidas) poderão ser confundidas com alcatrão (vide Anexo III - Figura III.1);
- b) Sombras (quer causadas por árvores, edifícios, ou relevo topográfico) podem ser confundidos com água ou estradas (vide Anexo III - Figura III.4);
- c) Afloramentos rochosos com resposta espectral escura (exemplo: vertentes rochosas no litoral) poderão ser confundidos com alcatrão e, conseqüentemente, serão confundidos com estradas (vide Anexo III - Figura III.5);
- d) Telhados de complexos industriais poderão ser classificados como solo nu (vide Anexo III - Figura III.2);
- e) Campos de futebol, campos de golfe e outras zonas verdes artificiais de carácter não agrícola poderão ser classificadas como agricultura de regadio (vide Anexo III - Figura III.3).

Estes resultados sugerem que a estratégia de classificação, para imagens à escala

local, como as QuickBird, não poderá ser directa, sendo necessário conceber um processo de classificação faseado, que consiste em decompor as classes da nomenclatura em subclasses espectrais ou em elementos de superfícies característicos da área de estudo em questão e realizar a classificação sobre essas classes; e posteriormente proceder à reclassificação dos pixels na nomenclatura proposta.

Destacam-se por fim os principais resultados alcançados pelo presente estudo:

- O presente trabalho recorreu ao cálculo da separabilidade das assinaturas espectrais das classes da cartografia CLC com dados de média resolução (dados MERIS) de modo a basear o desenvolvimento da nomenclatura a ser utilizada no projecto LANDAU. Os resultados da análise de separabilidade evidenciaram a existência de problemas de separabilidade em algumas classes da cartografia CLC, nomeadamente naquelas cuja definição assenta no uso do solo. Deste modo, é expectável que um classificador automático confunda as classes associadas aos problemas descritos.
- Recorreu-se ainda à produção de mapas de ocupação do solo preliminares, com dados de muito elevada resolução (QuickBird), de modo a avaliar os erros de classificação que poderão existir a uma escala mais detalhada. Os resultados demonstraram que a esta escala persistirão erros de classificação causados pela falta de separabilidade entre classes, sendo no entanto mais relevantes os erros decorrentes da presença de novos elementos de superfície que não possuíam expressão espectral a uma escala menos detalhada.
- Tendo em conta o exposto nos pontos anteriores, a nomenclatura proposta foi desenvolvida com o propósito de apoiar a classificação automática da ocupação / uso do solo. Contudo, os resultados obtidos sugerem que as estratégias de classificação para as diferentes escalas poderão diferir, de modo a mitigar parte das dificuldades enunciadas.
- A utilização do LCCS na definição das classes da nomenclatura proposta, permite maior objectividade na descrição de cada classe e facilita a conversão da nomenclatura LANDAU noutras nomenclaturas. Adicionalmente disponibilizam-se diversas tabelas de conversão da nomenclatura proposta para outras nomenclaturas de uso vigente, nomeadamente para a CLC. Na correspondência desta última com a nomenclatura LANDAU, destacaram-se classes de terceiro nível da CLC, que devido à sua definição não apresentam uma correspondência

biunívoca com classes da nomenclatura proposta. Nesses casos, foram encontradas soluções de compromisso de modo a mitigar o erro do produto convertido.

6 Referências Bibliográficas

Araújo A., Caetano M. Nomenclatura de Ocupação de Solo LANDEO. Relatório Técnico do projecto LANDEO. Lisboa, Instituto Geográfico Português, Janeiro 2005.

Bontemps S., Defourny P., Bogaert E. GLOBCOVER 2009 - Product Description Manual. Université Catholique de Louvain – UCL, European Space Agency, Dezembro 2010. Disponível em: http://ionia1.esrin.esa.int/docs/GLOBCOVER2009_PDM_1.0.pdf [Acedido em Dezembro 2011].

Bossard M., Feranec J., Otahel J. CORINE land cover technical guide - Addendum 2000. Technical Report No 40. European Environment Agency, May 2000.

Defourny P., Bontemps S., Bogaert E. GLOBCORINE - Product Description Manual. Belgium, Université Catholique de Louvain – UCL - Geomatics, European Environment Agency, European Space Agency, Junho 2010. Disponível em: <http://globcorine.s3.amazonaws.com/2004-2006/Documentation.zip> [Acedido em Dezembro 2011].

Richards J.A., Jia X. Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, 439p.

ANEXO I - Medidas de separabilidade espectral entre classes de ocupação do solo da CLC 2006, calculadas com base numa imagem MERIS

Quadro I.1 – Valores da medida de separabilidade Jeffries – Matusita calculados para as classes de nível 2 da CLC 2006, com base numa imagem MERIS (Set/Out 2005)

Nota: A amarelo representam-se as medidas de separabilidade relativas a classes de espaço que não são dissociáveis à escala de análise adoptada

CLC nível 3	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	41	42	51	52
11	0,000	0,712	0,775	0,722	1,742	1,858	1,961	1,673	1,952	1,901	1,705	2,000	1,879	1,619	1,927
12		0,000	0,341	0,606	1,200	1,684	1,362	1,312	1,666	1,524	0,798	2,000	1,083	1,007	1,589
13			0,000	0,276	0,970	1,202	1,332	0,877	1,799	1,426	0,878	1,999	1,529	0,976	1,784
14				0,000	1,139	1,294	1,373	1,099	1,584	1,280	0,777	1,989	1,597	1,141	1,814
21					0,000	0,688	0,597	0,648	1,779	1,387	1,645	1,995	1,645	1,085	1,981
22						0,000	0,733	0,184	1,449	0,873	1,041	1,960	1,600	0,524	1,789
23							0,000	0,216	0,759	0,572	0,760	1,909	1,502	0,929	1,869
24								0,000	0,842	0,553	0,783	1,883	1,461	0,611	1,801
31									0,000	0,473	0,281	1,354	1,725	0,827	1,952
32										0,000	0,140	1,849	1,158	0,668	1,529
33											0,000	1,882	1,211	0,655	1,512
41												0,000	1,992	1,699	2,000
42													0,000	1,726	0,625
51														0,000	0,840
52															0,000

ANEXO II – Descrição da nomenclatura LANDAU de acordo com o sistema de classificação LCCS e correspondência entre outras nomenclaturas e a nomenclatura LANDAU

Quadro II.1 – Nomenclatura LANDAU e LCCS

LANDAU Class	LCCS Main Type	LCCS Code	LCCS Label	LCCS Description
1 Artificial Areas	B15		Artificial Surfaces and Associated Area(s)	Primarily non-vegetated areas containing less than four percent vegetation during at least 10 months a year. The environment is influenced by the edaphic substratum. The cover is artificial and a result of human activities.
1.1 Continuous Artificial Areas	B15	A4-A13A14	High Density Urban Area(s)	The land cover consists of non-linear built up areas which can be further specified into industrial area(s) or urban area(s). The density of the impermeable surface(s) can be specified into high, medium, low or scattered.
1.2 Discontinuous Artificial Areas	B15	A4-A13A15 // A4-A13A16	Medium Density Urban Area(s) // Low Density Urban Area(s)	The land cover consists of non-linear built up areas which can be further specified into industrial area(s) or urban area(s). The density of the impermeable surface(s) can be specified into high, medium, low or scattered. // The land cover consists of non-linear built up areas which can be further specified into industrial area(s) or urban area(s). The density of the impermeable surface(s) can be specified into high, medium, low or scattered.
2 Croplands	A11		Cultivated and Managed Terrestrial Area(s)	Primarily vegetated areas containing more than four percent vegetation during at least two months a year. The environment is influenced by the edaphic substratum. The vegetative cover is characterised by the removal of the (semi)natural vegetation and replacement with a vegetative cover resulting from human activities. This cover is artificial and requires maintenance. It is grown with the intention to be managed and/or (partly) harvested at the end of the growing season. Before or after harvest there may be a period without vegetative cover.
2.1 Irrigated Agriculture	A11	A3XXXXXXD3 // A4XXXXXXD3 // A5XXXXXXD3	Irrigated Herbaceous Crop(s) // Irrigated Graminoids Crop(s) // Irrigated Non-Graminoids Crop(s)	Field(s) are covered by irrigated herbaceous crops. The irrigation systems commonly used are surface, sprinkler and drip irrigation. The crop covers the land during the cropping period of a fallow system. // Field(s) are covered by irrigated graminooids crops. The irrigation systems commonly used are surface, sprinkler and drip irrigation. The crop covers the land during the cropping period of a fallow system. // Field(s) are covered by irrigated non-graminoids crops. The irrigation systems commonly used are surface, sprinkler and drip irrigation. The crop covers the land during the cropping period of a fallow system.
2.2 Non-irrigated Agriculture	A11	A3xxxxxD1 // A4xxxxxD1 // A5xxxxxD1 // A2-A7A10-S0610 // A1-A7-S6 // A2-A7-S6 // A1-A7A9-S0910	Rainfed Herbaceous Crop(s) // Rainfed Graminoids Crop(s) // Rainfed Non-Graminoids Crop(s) // Broadleaved Deciduous Shrub Crop(s) Dominant Crop: Fruits & Nuts - Grapes (Vitis vinifera) // Broadleaved Tree Crop(s) Crop Type: Fruits & Nuts // Broadleaved Shrub Crop(s) Crop Type: Fruits & Nuts // Broadleaved Evergreen Tree Crop(s) Dominant Crop: Industrial Crops - Olive (Olea europaea L.)	Field(s) are covered by rainfed herbaceous crops. The crop covers the land during the cultivation period of a shifting system. // Field(s) are covered by rainfed graminooids crops. The crop covers the land during the cultivation period of a shifting system. // Field(s) are covered by rainfed non-graminoids crops. The crop covers the land during the cultivation period of a shifting system. // Shrub crops cover a defined area. The leaf type and leaf phenology can be further specified optionally. // Tree crops cover a defined area. The leaf type and leaf phenology can be further specified optionally. // Shrub crops cover a defined area. The leaf type and leaf phenology can be further specified optionally. // Tree crops cover a defined area. The leaf type and leaf phenology can be further specified optionally.
2.3 Rice Crops	A11	A1-S0308	Graminoids Crop(s) Dominant Crop: Cereals - Rice (Oryza spp.)	A defined area is covered with graminooid crops.

3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas	A12		Natural And Semi-Natural Primarily Terrestrial Vegetation	Primarily vegetated areas containing more than four percent vegetation during at least two months a year. The environment is influenced by the edaphic substratum. The vegetative cover is characterised by the presence of (semi)natural vegetation which species composition, its environmental and ecological processes are indistinguishable from, or in a process of achieving, its undisturbed state. The vegetative cover is not artificial and does not need to be managed nor maintained.
3.1 Broadleaved Forest	A12	A3A20B2XXD1-A21	Broadleaved Closed to Open (100-40)% Trees	The main layer consists of broadleaved closed to open trees. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%). The height is in the range of >30 - 3m but may be further defined into a smaller range.
3.2 Coniferous Forest	A12	A3A20B2XXD2-A21	Needleleaved Closed to Open (100-40)% Trees	The main layer consists of needleleaved closed to open trees. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%). The height is in the range of >30 - 3m but may be further defined into a smaller range.
3.3 Mixed Forest	A12	A3A20B2XXD1-A21 / A3A20B2XXD2-A21	Broadleaved Closed to Open (100-40)% Trees / Needleleaved Closed to Open (100-40)% Trees	The main layer consists of broadleaved closed to open trees. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%). The height is in the range of >30 - 3m but may be further defined into a smaller range. / The main layer consists of needleleaved closed to open trees. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%). The height is in the range of >30 - 3m but may be further defined into a smaller range.
3.4 Grassland	A12	A2A20-A21 // A6A20	Herbaceous Closed to Open (100-40)% Vegetation // Closed to Open Grassland	The main layer consists of closed to open herbaceous vegetation. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%). // The main layer consists of closed to open grassland. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%).
3.5 Shrubland	A12	A4A20B3-A21 // A4A20B3XXD1E1-A21	Closed to Open (100-40)% Shrubland (Thicket) // Broadleaved Evergreen Closed to Open (100-40)% Thicket	The main layer consists of closed to open shrubland. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%). The height is in the range of 5 - 0.3m but may be further defined into a smaller range. // The main layer consists of broadleaved evergreen closed to open thicket. The crown cover is between 100 and 15% (a further sub range can be defined – Closed to Open 100–40%). The height is in the range of 5 - 0.3m but may be further defined into a smaller range.
3.6 Barren to sparsely vegetated areas	B16//A12	A3-A7 // A1A14 // A2A14	Bare Rock(s) // Sparse Woody Vegetation // Herbaceous Sparse Vegetation	The land cover consists of bare rock and/or coarse fragments. Coarse fragments can be further specified into gravel, stones and/or boulders. // The main layer consists of sparse woody vegetation. The crown cover is between (20-10) and 1%. The sparseness of the vegetation may be further specified. // The main layer consists of sparse herbaceous vegetation. The crown cover is between (20-10) and 1%. The sparseness of the vegetation may be further specified.
4 Bare Land	B16//B15	B16 / A1 // A2-A5 // A2-A6 // A6B1 // A5	Bare Area(s) / Built Up Area(s) // Waste Dump(s)/Deposit(s) // Extraction site(s) // Shifting Sands / Dune(s) //Bare Soil And/Or Other Unconsolidated Material(s)	Primarily non-vegetated areas containing less than four percent vegetation during at least 10 months a year. The environment is influenced by the edaphic substratum. The cover is natural. Included are areas like bare rock and sands. / The land cover consists of built up area(s). // The land cover consists of non built up areas. A distinction can be made between waste dump deposit(s) and extraction site(s). // The land cover consists of non built up areas. A distinction can be made between waste dump deposit(s) and extraction site(s). // The land cover consists of loose and shifting sands. The sand macro pattern consists of dunes. The surface can be stony (5 - 40%) or very stony (40 - 80%). // The land cover consists of bare soil and/or other unconsolidated material(s). The surface can be stony (5 - 40%) or very stony (40 - 80%).

5 Burnt Areas				
6 Wetlands	A24	A24	Natural And Semi-Natural Aquatic or Regularly Flooded Vegetation	Primarily vegetated areas containing more than four percent vegetation during at least two months a year. The environment is significantly influenced by the presence of water over extensive periods of time, i.e. water is present for more than three months a year and when water is present less than three months a year, it is present 75 percent of the flooding time. The vegetative cover is characterised by the presence of (semi)natural vegetation which species composition, its environmental and ecological processes are indistinguishable from, or in a process of achieving, its undisturbed state. The vegetative cover is not artificial and does not need to be managed nor maintained. This class includes floating vegetation but excludes areas with only occasional flooding.
7 Water Bodies	B27//B28	A1 // A1	Natural Water bodies // Artificial Water bodies	The land cover consists of natural water bodies. A further specification can be made in flowing or standing water. // The land cover consists of artificial water bodies. A further specification can be made in flowing or standing water.

Quadro II.2 – Correspondência entre a nomenclatura GLC 2000 e a nomenclatura LANDAU

GLC Global Class (according to LCCS terminology)		LANDAU label
1	Tree Cover, broadleaved, evergreen LCCS >15% tree cover, tree height >3m (Examples of sub-classes at regional level* : closed > 40% tree cover; open 15-40% tree cover)	3.1 Broadleaved Forest
2	Tree Cover, broadleaved, deciduous, closed	3.1 Broadleaved Forest
3	Tree Cover, broadleaved, deciduous, open (open 15-40% tree cover)	3.1 Broadleaved Forest
4	Tree Cover, needle-leaved, evergreen	3.2 Coniferous Forest
5	Tree Cover, needle-leaved, deciduous	3.2 Coniferous Forest
6	Tree Cover, mixed leaf type	3.3 Mixed Forest
7	Tree Cover, regularly flooded, fresh water (& brackish)	6 Wetlands
8	Tree Cover, regularly flooded, saline water, (daily variation of water level)	6 Wetlands
9	Mosaic: Tree cover / Other natural vegetation	3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
10	Tree Cover, burnt	5 Burnt Areas
11	Shrub Cover, closed-open, evergreen (Examples of sub-classes at reg. level *: (i) sparse tree layer)	3.5 Shrubland
12	Shrub Cover, closed-open, deciduous (Examples of sub-classes at reg. level *: (i) sparse tree layer)	3.5 Shrubland
13	Herbaceous Cover, closed-open (Examples of sub-classes at regional level* : (i) natural, (ii) pasture, (iii) sparse trees or shrubs)	3.4 Grassland
14	Sparse Herbaceous or sparse Shrub Cover	3.6 Barren to Sparsely Vegetated Areas
15	Regularly flooded Shrub and/or Herbaceous Cover	6 Wetlands
16	Cultivated and managed areas (Examples of sub-classes at reg. level* : (i) terrestrial; (ii) aquatic (=flooded during cultivation), and under terrestrial: (iii) tree crop & shrubs (perennial), (iv) herbaceous crops (annual), non-irrigated, (v) herbaceous crops (annual), irrigated)	2 Croplands
17	Mosaic: Cropland / Tree Cover / Other natural vegetation	2 Croplands / 3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
18	Mosaic: Cropland / Shrub or Grass Cover	2 Croplands / 3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
19	Bare Areas	4 Bare Land
20	Water Bodies (natural & artificial)	7 Water Bodies
21	Snow and Ice (natural & artificial)	-
22	Artificial surfaces and associated areas	1 Artificial Areas

Quadro II.3 – Correspondência entre a nomenclatura GobCover e a nomenclatura LANDAU

GlobCover Class	GlobCover Label	LANDAU label
11	Post-flooding or irrigated croplands	2.1 Irrigated Agriculture or 2.3 Rice Crops
14	Rainfed croplands	2.2 Non-Irrigated Agriculture
20	Mosaic cropland (50-70%) / vegetation (grassland / shrubland / forest) (20-50%)	2 Croplands / 3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
30	Mosaic vegetation (grassland / shrubland / forest) (50-70%) / cropland (20-50%)	3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas / 2 Croplands
40	Closed to open (>15%) broadleaved evergreen and/or semi-deciduous forest (>5m)	3.1 Broadleaved Forest
50	Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5m)	3.1 Broadleaved Forest
60	Open (15-40%) broadleaved deciduous forest/woodland (>5m)	3.1 Broadleaved Forest
70	Closed (>40%) needle-leaved evergreen forest (>5m)	3.2 Coniferous Forest
90	Open (15-40%) needle-leaved deciduous or evergreen forest (>5m)	3.2 Coniferous Forest
100	Closed to open (>15%) mixed broadleaved and needleleaved forest	3.3 Mixed Forest
110	Mosaic forest or shrubland (50-70%) and grassland (20-50%)	3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
120	Mosaic grassland (50-70%) and forest or shrubland (20-50%)	3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
130	Closed to open (>15%) shrubland (<5m)	3.5 Shrubland
140	Closed to open (>15%) grassland	3.4 Grassland
150	Sparse (<15%) vegetation	3.6 Barren o Sparsely vegetated Areas
160	Closed (>40%) broadleaved forest regularly flooded, fresh water	6 Wetlands
170	Closed (>40%) broadleaved semi-deciduous and/or evergreen forest regularly flooded, saline water	6 Wetlands
180	Closed to open (>15%) grassland or shrubland or woody vegetation on regularly flooded or waterlogged soil, fresh, brakish or saline water	6 Wetlands
190	Artificial surfaces and associated areas (Urban areas >50%)	1 Artificial Areas
200	Bare areas	4 Bare Land
210	Water bodies	7 Water Bodies
220	Permanent Snow and Ice	-

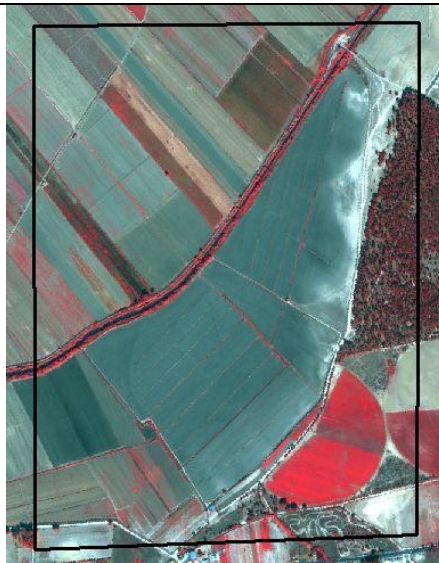
Quadro II.4 – Correspondência entre a nomenclatura GlobCorine e a nomenclatura LANDAU

VALUE GlobCorine	GlobCorine label	LANDAU label
10	Urban and associated areas	1 Artificial Areas
20	Rainfed cropland	2.2. Non-Irrigated Agriculture
30	Irrigated cropland	2.1 Irrigated Agriculture
40	Forest	3.1 Broadleaved Forest
		3.2 Coniferous Forest
		3.3 Mixed Forest
50	Heathland and sclerophyllous vegetation	3.5 Shrubland
60	Grassland	3.4 Grassland
70	Sparsely vegetated area	3.6 Barren to Sparsely Vegetated Areas
80	Vegetated low-lying areas on regularly flooded soil	6 Wetlands
90	Bare areas	4 Bare Land
100	Complex cropland	2 Croplands
110	Mosaic cropland / natural vegetation	2 Croplands / 3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
120	Mosaic of natural (herbaceous, shrub, tree) vegetation	3 Natural and Semi-Natural Vegetated Areas
200	Water bodies	7 Water Bodies
210	Permanent snow and ice	-

ANEXO III – Ilustração de situações de erro cometidas na classificação da ocupação / uso do solo a partir de imagens QuickBird, com base na nomenclatura CLC 2006



a) Ortofoto 2005

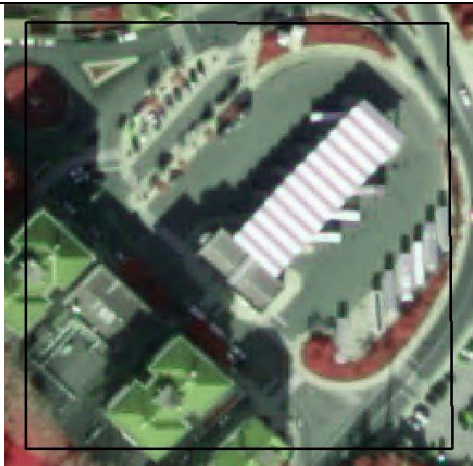


b) Imagem QuickBird



c) Classificação preliminar de um arrozal (zona húmida) como estradas (representadas a cinza)

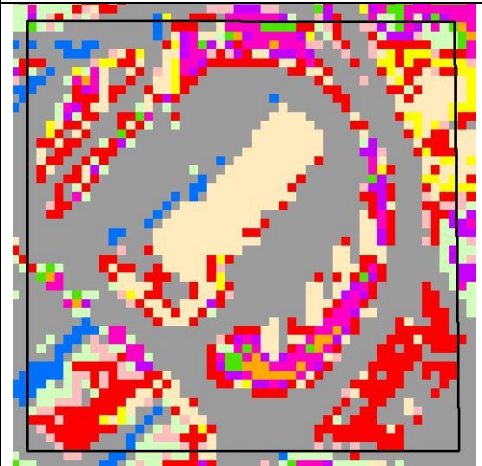
Figura III.1 – Zonas húmidas



a) Ortofoto 2005



b) Imagem QuickBird

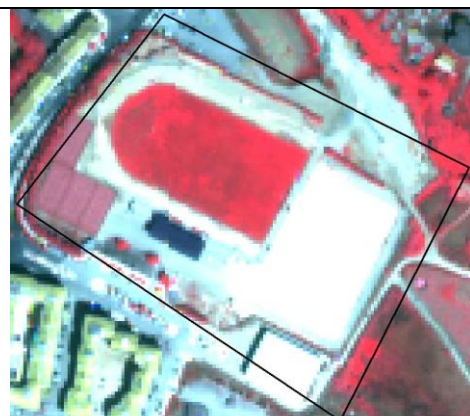


c) Classificação preliminar de um telhado de zinco como solo nu (representado a creme/areia)

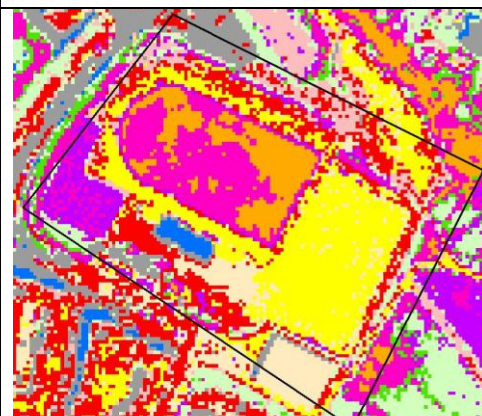
Figura III.2- Telhado de zinco



a) Ortofoto 2005



b) Imagem QuickBird

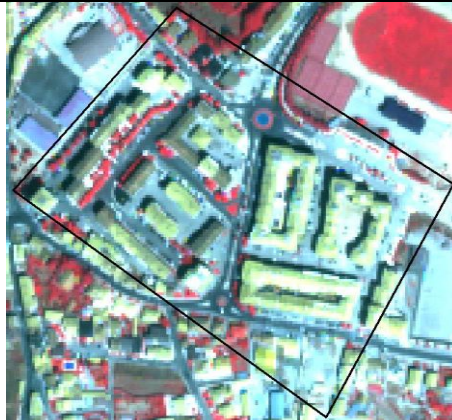


c) Classificação preliminar de um campo de futebol como cultura de regadio (representado a rosa forte) e de campos de ténis como pomar (a amarelo)

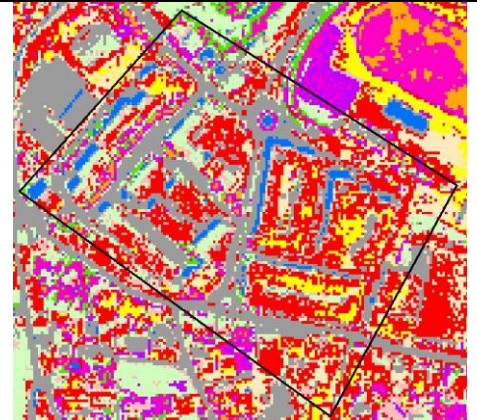
Figura III.3 – Campo de futebol (a vermelho) e campos de ténis (a verde claro)



a) Ortofoto 2005

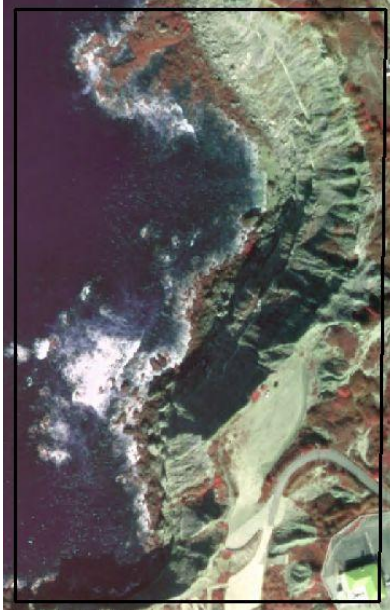


b) Imagem QuickBird

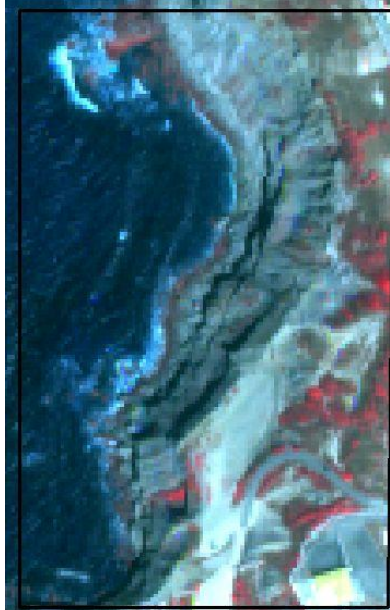


c) Classificação preliminar de sombras de edifícios como corpos de água (representados a azul)

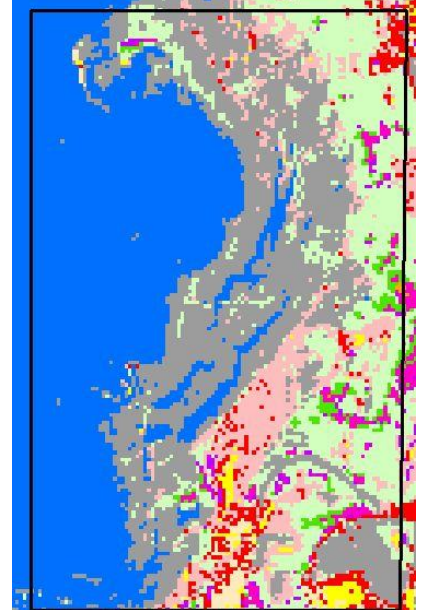
Figura III.4 – Sombras de edifícios



a) Ortofoto 2005



b) Imagem QuickBird



c) Classificação preliminar de zonas de arriba costeira como estradas (representadas a cinza)

Figura III.5 – Zonas de arriba costeira

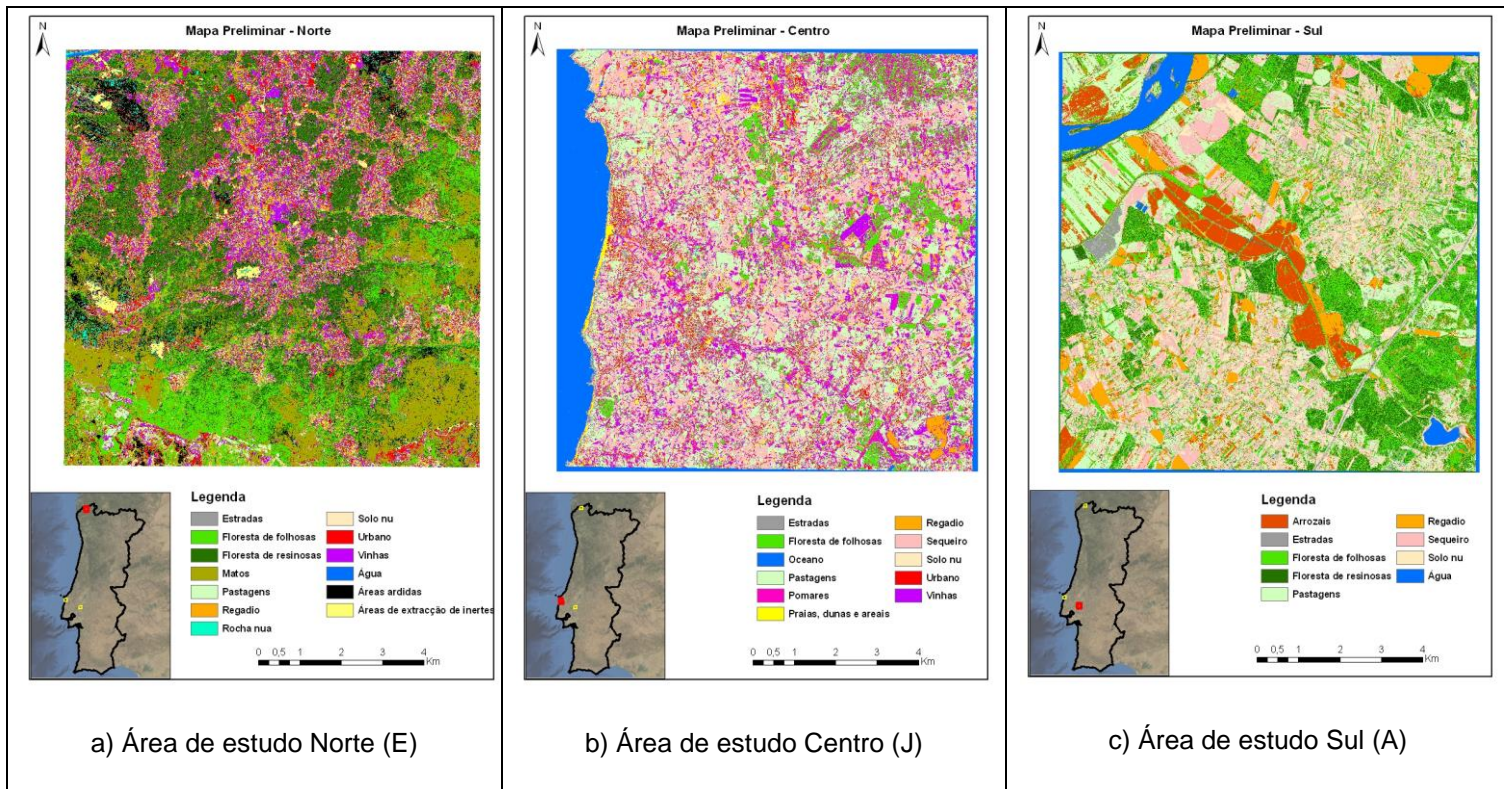


Figura III.6 - Classificação preliminar da ocupação / uso do solo nas três área de estudo do projecto, com recurso a imagens QuickBird e com base na nomenclatura CLC 2006