

INTEGRAÇÃO TELEDETECCÃO-SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA A PRODUÇÃO DE CARTOGRAFIA DE USO/OCUPAÇÃO DO SOLO*

Jorge Rocha**

1. INTRODUÇÃO

As fotografias aéreas constituíram a primeira fonte de informação por teledeteccção para o estudo de áreas urbanas e foram, até muito recentemente, claramente superiores, em termos de resolução espacial, às imagens obtidas por satélite. As suas principais desvantagens prendem-se com o facto de serem relativamente onerosas e obrigarem a uma interpretação visual, o que, em áreas extensas, implica uma disponibilidade temporal e de capital humano que por vezes não existe e que, quando está disponível, é condicionada pela difícil aplicação sistemática de critérios comuns entre os diferentes foto-intérpretes.

Por seu lado, as imagens de satélite são, desde o seu aparecimento, tidas como um poderoso meio de obter informação actualizada, a custos relativamente baixos, sobre as actividades que decorrem em meio urbano, incluindo aquelas que se processam na franja urbano-rural. O formato de dados permite a utilização de algoritmos de classificação automática e/ou semi-automática viabilizando, assim, uma análise mais célere, menos dispendiosa, e espectralmente mais abrangente.

Desde então, várias abordagens têm sido levadas a efeito para identificar, delinear, e medir, de forma automática ou semi-automática, as diferentes características do espaço urbano, tendo-se chegado a resultados diversos. De facto, se, para os estudos que incidem sobre áreas agrícolas, o processamento digital de imagens tem provado o seu, quando se faz a transposição para áreas construídas os resultados já não são tão satisfatórios. A resolução espacial das imagens funcionou inicialmente como justificação para todos os problemas encontrados, sendo indicada como o principal factor limitativo em diversos estudos.

Neste contexto, a primeira atenção incidiu sobre as possibilidades dos sensores, mais especificamente sobre a

sua resolução espacial, tendo os MSS e TM (Landsat) e o HRV (XS e Pan - SPOT) sido os mais visados, em virtude das suas superiores resoluções face aos outros sistemas. Os primeiros foram considerados como inadequados para uma classificação precisa e consistente, muito embora detectassem as características urbanas e viabilizassem a divisão entre edificado e não edificado; por outro lado, o SPOT-XS, apesar de conduzir a resultados satisfatórios em diversas aplicações como a detecção de alterações, mostrou-se ineficaz numa divisão em classes. Como se não bastasse, as imagens multiespectrais SPOT apresentam ainda fortes condicionalismos em termos de resolução espectral, face às especificidades inerentes ao meio urbano.

Na tentativa de resolver estes problemas, têm sido levadas a cabo algumas experiências, de forma a produzir uma imagem híbrida, que conjugue as capacidades espectrais do sensor TM com a resolução espacial da banda pancromática SPOT. No entanto, a dimensão óptima do pixel em aplicações urbanas varia em função da densidade e contraste específicos de cada área, que se pode caracterizar por uma diversidade enorme de usos, por vezes co-existent, e com um elevado grau de detalhe. Para além disso, a densidade de construção varia de acordo com a localização geográfica, ou melhor, com o enquadramento cultural da região, observando-se, por exemplo, que enquanto para os Estados Unidos um IFOV de 30 metros pode ser suficiente, para o continente Asiático esse valor terá de ser de 5 a 10 metros. No caso específico do Sudão e da China é aconselhável utilizar uma precisão superior a 5 metros.

Contudo, vários autores têm feito notar que, paradoxalmente, o aumento da resolução espacial pode conduzir a maiores problemas no tratamento numérico de imagens, em função da grande heterogeneidade espectral do meio urbano, que conduz implicitamente a um aumento da variabilidade e, conseqüentemente, do designado "ruído". Dito de outra forma, à medida que a resolução espacial aumenta, os detalhes da imagem (por exemplo, estradas, casas) vão tomando forma, e adquirindo uma certa predominância na resposta espectral de cada pixel, promovendo um tratamento erróneo e confuso, comprometendo

* O autor agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) que apoiou este trabalho através da atribuição de uma bolsa de Mestrado (Ref. PRAXIS XXI/BM/15182/98).

** Centro de Estudos Geográficos. Universidade de Lisboa.

a extracção de informação global e tornando problemática uma classificação coerente e homogénea da imagem.

Este factor, alicerçado pela necessidade de (co)existirem diferentes níveis de classificação face ao contexto de planeamento em questão, indica que não existe uma resolução padrão, e que esta varia face aos objectivos. É plausível, em virtude da situação apresentada, dividir a utilização de imagens em duas metodologias: sintética, que tem por objectivo recolher informação sobre as características gerais da área em estudo (por exemplo, extensão da mancha urbana), e analítica, que visa a recolha de informação detalhada sobre o objecto mais pequeno da imagem constante da imagem (por exemplo, uma casa).

Chegou-se assim à conclusão que nem todas as deficiências podem ser imputadas à resolução espectral dos sensores, admitindo-se finalmente que os métodos de extracção de informação também detinham uma quota-parte de responsabilidade no processo. Com efeito, as áreas urbanas englobam classes de uso espectralmente heterogéneas, inviabilizando uma classificação (correcta) com recurso unicamente a algoritmos de classificação *pixel-por-pixel*, sem ter em atenção as características dos pixels vizinhos. A questão fulcral reside exactamente neste ponto: os algoritmos tradicionais não se adaptam às particularidades destes casos, nomeadamente à frequência espacial dos objectos, na medida em que classificam cada pixel com base unicamente nas suas características espectrais.

2. MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO

O classificador de *Bayes* utiliza modelos estocásticos de probabilidade para proceder à classificação, ou seja, considera que uma determinada ocupação do solo pode verificar-se mais frequentemente num determinado contexto do que em outros. O facto de se ter optado por deslocar esta técnica para o ponto dos classificadores flexíveis prende-se com o facto de a sua aplicação mais conhecida ser através da teoria da probabilidade de *Bayes*. Esta é uma extensão da versão clássica, e permite combinar probabilidades com um prévio conhecimento dos dados, para estimar várias hipóteses de classificação.

As aplicações entretanto desenvolvidas em ambos os campos, e a complexidade de situações que ocorrem no globo terrestre, têm fomentado a predominância dos métodos de classificação supervisionada sobre os seus congéneres. Os melhores resultados apresentados por métodos como o do paralelepípedo, máxima verosimilhança, e mínima distância, consagram-nos como os eleitos para proceder à classificação de imagens. Nestes, recorre-se a uma nomenclatura para proceder à classifica-

ção, ou seja as classes de uso e ocupação são estabelecidas previamente, podendo ou não, corresponder a classes espectrais unimodais cujos parâmetros estatísticos são aferidos com base em amostras representativas das assinaturas espectrais das classes a representar, vulgo áreas de treino.

No classificador de máxima verosimilhança a função de possibilidade para cada *pixel* é definida a partir dos parâmetros estatísticos de cada uma das classes. Estes serão classificados, numa dada plataforma, consoante a probabilidade que comportam de lhe pertencerem. Considerando o caso de duas bandas, os níveis digitais tendem a descrever uma elipse onde estão representadas duas classes (uma por banda).

A probabilidade do *pixel* X pertencer a uma categoria é definida a partir da função de densidade de verosimilhança para uma distribuição normal, sendo esta representada pelo vector médio da classe (M_k) e pela matriz de co-variância (C_k):

$$F_k(X_i) = (2\pi)^{-n/2} |C_k|^{-0.5} \exp[-0.5(X_i - M_k)C_k^{-1}(X_i - M_k)]$$

onde $F_k(X_i)$ é a probabilidade do vector de um *pixel* (X_i) (com cada *pixel* $i = 1, 2, \dots, N$) pertencer a uma classe (de treino) espectral K . Este método permite que se estabeleçam limites de probabilidade para todas as classes, de modo a enquadrar, dentro de cada uma, os *pixel* da imagem. Neste caso, podem existir *pixels* cujos valores os coloquem numa zona de charneira entre duas classes de probabilidade, de tal modo que a hipótese de pertencerem a qualquer uma dessas classes seja tão remota que estes sejam atribuídos a uma terceira, correspondente a elementos não classificados. Pode então falar-se da criação de um limiar crítico para além do qual o *pixel* não é atribuído a nenhuma classe espectral.

Nesta abordagem combinam-se as probabilidades espectrais calculadas pelo método da máxima verosimilhança com uma outra superfície de probabilidade, obtida, ou não, a partir de técnicas de teledeteção. Estas probabilidades, estabelecidas antecipadamente, podem ser interpretadas como um meio de deslocação das fronteiras de decisão, de forma a criar, num espaço de medição com dimensão n , grandes volumes, para classes que se esperam de grande dimensão, e volumes mais pequenos, para aquelas mais diminutas. Formalmente, esta é a probabilidade condicional da classe espectral K , dado o vector do *pixel* X_i e a variável exterior V_j definida como $P(K|X_i, V_j)$, ou simplesmente a probabilidade *a priori* de $P(K)$. Assim se forma a base desta teoria, atribuindo à observação i a classe K que tem a maior probabilidade de ocorrência, dado o vector de dimensão multiespectral X_i (observado) e a variável auxiliar V_j . Desta forma, e constituindo uma

evolução do classificador da máxima verosimilhança, surge a expressão seguinte:

$$G_K(X_i) = \frac{F_K(X_i)P(K)}{\sum_K F_K(X_i)P(K)}$$

onde $G_K(X_i)$ é a probabilidade *a posteriori* da classe K, dada a probabilidade espectral $F_K(X_i)$ e contextual (também chamada de condicional) P_K , garantindo o denominador que os resultados da equação variam entre 0 e 1. Para quem não esteja familiarizado com esta teoria, esta fórmula pode parecer um tanto ou quanto complexa, mas na realidade é bastante simples. Pegando, como exemplo, no caso tipo mais simples, onde só existem duas hipóteses de classificação, sendo o *pixel* classificado, a título meramente académico, como urbano ou rural, distribuindo-se a probabilidade pelas duas classes, esta é quase sempre estimada através da média das duas probabilidades (espectral e contextual) *a priori*, só não o sendo quando qualquer uma delas for igual a 1, ou seja, quando um *pixel* pertencer inequivocamente (100%) a uma delas.

O método da relaxação de etiquetas pode apresentar quatro variantes: a discreta, a dos *pixels* indistintos (fuzzy), e as dos modelos de probabilidade linear e não linear, e apresenta, além das já enunciadas, outras características peculiares que o diferenciam dos outros métodos contextuais. Neste caso, estamos perante um procedimento empírico que actualiza interactivamente as probabilidades de um *pixel* pertencer a determinada classe, com base na classificação atribuída aos seus vizinhos. Das quatro variantes, tem sido a última, conhecida como método de relaxação da probabilidade, a ser objecto de maiores desenvolvimentos tendo em vista a melhoria dos desempenhos sem comprometer o desempenho computacional e a precisão.

É de foro consensual o sentimento de que a integração entre SIG e teledetecção permite maximizar a quantidade de informação disponível e as capacidades de análise, possibilitando a combinação entre dados espectrais e dados não espectrais. Os Sistemas de Informação Geográfica são o meio preferencial para realizar estas operações constituindo uma poderosa ferramenta de análise, nomeadamente em processos quantitativos e revisão de cartografia.

A informação designada como auxiliar ou colateral pode ser sumariamente definida como aquela que se adquire por meios não relacionados com a teledetecção, sendo aplicada na classificação de informação remota com o intuito de melhorar a capacidade analítica do operador. O recurso a informação não espectral baseia-se no pressuposto de que toda a informação adicional, recolhida de forma inteiramente independente face à fornecida pelos

dispositivos orbitais, promove um incremento do potencial de discriminação de classes e, consequentemente, substancia a capacidade de realizar outro tipo de análises. Esta técnica tem sido bastante utilizada e pode ser entendida sob três perspectivas diferentes:

1. Estratificação pré-classificação - entendendo-se como a divisão hierarquizada de uma imagem em sub-regiões, as quais, apesar de bem definidas na informação auxiliar, são de difícil discernimento no seio das imagens de satélite. Desta forma, é possível operar-se com áreas mais pequenas, diminuindo assim a variabilidade interna de cada classe, melhorando as probabilidades de sucesso e diminuindo o tempo de processamento. Tudo isto através de um processo fácil de implementar, mas que não identifica mudanças graduais entre classes e que exige grande rigor e precisão na escolha dos critérios que irão dar azo à estratificação.

2. Alterações nos classificadores - A informação auxiliar pode ser utilizada durante a classificação na forma de uma banda independente. Tomando por exemplo a situação mais comum; a utilização de altimetria (e, consequentemente, de declives e exposições) na análise do coberto vegetal, pode aquilatar-se todo o potencial desta metodologia, dado que os padrões de distribuição espacial das espécies florestais estão intimamente correlacionados com a topografia. Portanto, ficamos na posse de uma poderosa ferramenta de subdivisão e restrição das classes que supostamente devem ser discriminadas sobre a imagem. Apesar da sua fácil aplicação, esta hipótese aumenta consideravelmente o tempo requerido para processamento.

Outra abordagem da mesma técnica consiste em alterar *a priori* as probabilidades de um *pixel* pertencer a uma determinada classe, seja através do conhecimento real do terreno, ou de uma determinada relação entre as classes espectrais e a informação auxiliar. Este método é considerado híbrido, na medida em que conjuga as capacidades dos classificadores paramétricos com as dos não paramétricos, adoptando as melhores características de cada um. Neste contexto, o classificador de *Bayes* tem sido aplicado com bastante sucesso, na medida em que combina as potencialidades do classificador de máxima verosimilhança com o manancial de informação não espectral contido num SIG, permitindo que este último influencie as probabilidades tidas em conta pelo primeiro.

3. Discriminação pós-classificação - Este método permite que os *pixels* cuja classificação espectral seja pouco definida sejam reavaliados e agrupados em categorias, de acordo com regras de decisão extraídas da informação auxiliar.

Dentro da utilização da informação auxiliar, e independentemente da perspectiva adoptada, tem ganho corpo

a utilização de informação estatística proveniente, principalmente, dos recenseamentos da população. Um dos primeiros passos nesse sentido foi dado com a identificação de uma correlação linear entre a população e os níveis de radiância, tendo esta linha de acção sido posteriormente desenvolvida com recurso a dados sócio-económicos, embora, no seguimento dos referidos estudos, tenham sido desenvolvidas metodologias interessantes, nomeadamente nas áreas da detecção da rede viária, da monitorização do crescimento urbano em áreas periféricas e da reclassificação contextual das morfologias urbanas, poucos estudos têm feito uso deste tipo de informação, com algumas, honrosas, excepções.

Para se atingirem os objectivos propostos utilizaram-se várias fontes de informação, que se podem dividir em dois grandes grupos já anteriormente mencionados: o da informação auxiliar, e o das imagens provenientes de sensores orbitais. No primeiro caso, utilizou-se a informação disponibilizada pelo Plano Director Municipal (PDM) do concelho em estudo, pela rede viária, e pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), esta discriminada à subsecção estatística e correspondente ao Recenseamento Geral da População de 1991. Esta última assume também duas identidades, que, consequentemente, requerem abordagens distintas. Por um lado, existe a vertente vectorial, materializada pela Base Geográfica de Referência Espacial (BGRE) e que corresponde à delimitação espacial das unidades de recolha e, por outro, a informação estatística propriamente dita, que se divide em quatro grandes subgrupos: Famílias, Alojamentos, Indivíduos e Edifícios.

Destes dados estatísticos, eliminou-se desde logo a primeira tabela, pelo facto de não conter qualquer informação relevante para o trabalho em curso, ao passo que das restantes se retiraram os campos considerados como fundamentais na persecução dos objectivos propostos.

Escolhidos os campos alfanuméricos a utilizar, toda a atenção recaiu então sobre a escolha da área teste. Esta deve ser bastante heterogénea relativamente aos usos, na medida em que o método proposto visa uma posterior extrapolação a toda a Área Metropolitana de Lisboa, e portanto, como acontece sempre nestas situações, é vital escolher um espaço onde pontifiquem, na medida do possível, todas as variáveis existentes.

Esta opção é tanto mais laboriosa quanto a AML, em virtude de ser o pólo dinamizador da economia nacional, detendo mais de 60% do total do emprego do Continente, nos sectores secundário e terciário, ser o paradigma da consequente concentração da população e crescimento exponencial das áreas urbanas, constituindo um fenómeno territorial complexo. A urbanização ocorreu, neste território, de forma casuística, provocando graves desequilí-

brios, cuja principal causa, de ordem estrutural e funcional, se deve ao facto de a evolução da economia não ter sido acompanhada pelas necessárias medidas de ordenamento do território.

Optou-se então por seleccionar uma área correspondente a um rectângulo com 2300 m de altura por 4000 m de largura, correspondendo a uma área um pouco superior a 9 km², o que, traduzido em termos de imagem SPOT Pan – que apresenta a resolução espacial mais alta com que se vai operar – equivale a uma imagem com 230 linhas e 400 (colunas) *pixels* por linha. Em termos geográficos, a escolha recaiu no concelho de Oeiras, e, particularmente, na zona envolvente ao Estádio Nacional, uma vez que, muito embora possa ser considerado um concelho urbano, Oeiras ainda se encontra sob a influência centralizadora de Lisboa constituindo uma periferia deste, embora com bons padrões de qualidade habitacional e uma economia cada vez mais independente.

3. PREPARAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Definida a metodologia, há que preparar a informação, de forma a torná-la compatível e minimizar as incorrecções que possa conter. Começou-se, como parece lógico, pela base gráfica, que apresentava uma precisão geográfica deficiente, devido a um processo de digitalização (mesa digitalizadora) pouco preciso, e que actualmente se encontra em desuso. Assim, antes de qualquer outra operação, foi necessário corrigir sobre um ortofotomapa a cartografia fornecida pelo INE, deslocando os limites das subsecções para os locais onde eles realmente pertencem. Não seria correcto terminar este apontamento sem referir que, na altura, a opção tomada pelo INE era a mais avançada, e foi o desenvolvimento tecnológico e o consequente aumento das exigências em termos de qualidade que o tornou, não digamos obsoleto, mas preterido face a outros. Contudo, a nova base geográfica que serviu de suporte aos censos 2001 foi elaborada segundo os métodos mais avançados, nomeadamente digitalização no computador sobre ortofotomapas.

Existem diversas incongruências no mapa disponibilizado ao público pela instituição responsável, existindo mesmo subsecções que estendem o seu raio de acção pelo Rio Tejo. Contudo, os problemas não terminaram com a eliminação destes pontos de fricção; também ao nível dos dados alfanuméricos se verificaram alguns Problemas, constatando-se que existiam registos na base gráfica sem correspondência alfanumérica, sendo que o inverso também era verdadeiro. Mais tarde, veio a verificar-se que, no primeiro caso, se tratavam de subsecções que estavam abrangidas pelo segredo estatístico e que portanto não

tinham informação referenciada ou, para a segunda situação, simplesmente não tinham sido digitalizadas. Todos estes pormenores tiveram que ser regularizados através de processos de correcção e edição, tendo por base tecnologia SIG, pois claramente a informação não tinha sido armazenada numa perspectiva de posteriormente ser integrada num destes sistemas.

3.1. Pré-processamento das Imagens de Satélite

Posto isto, e perante a operacionalidade do sistema estatístico, foi dado início ao processo de aquisição e dimensionamento da imagem. É comum os registos obtidos por sensores instalados em plataformas espaciais, nomeadamente os que provêm de satélites (como é o caso), serem fornecidos aos utilizadores sob a forma de dados digitais. O processo de aquisição das imagens originais decorre em formato BIL (*Band Interleaved by Line*), o qual não se afigura compatível com as designações do “ambiente” em uso, direccionadas para arquivos de outras características. Assim sendo, torna-se imprescindível a conversão dos ficheiros iniciais em formatos reconhecidos pelo *software* de destino. Para que o tratamento de dados seja viável, revela-se então necessário executar um certo número de acções constituindo a supracitada a primeira delas.

A informação remota consiste em imagens SPOT (Pan e XS) e Landsat TM, obtidas durante os verões de 1995 e 1997, respectivamente, as quais englobam uma área que corresponde genericamente à Área Metropolitana de Lisboa. Depois de convertidas para um formato compatível com o programa utilizado, e dado estar-se perante imagens obtidas em dias diferentes e por sensores diferentes, teve de se proceder à correcção (feita automaticamente pelo *software* em uso) dos danos causados na imagem pelos efeitos atmosféricos que pontificam durante o processo de aquisição.

A etapa seguinte corresponde à georeferenciação das imagens, relativamente à base cartográfica, processo denominado “correcção geométrica”. Ao ser adquirida, uma imagem vai originar um ficheiro digital cujas dimensões dizem respeito ao sistema, e não à realidade. Para que se possa trabalhar e explorar esta informação em termos úteis, nomeadamente extrair elementos, medir distâncias, áreas, etc., é necessário proceder à sua correcção geométrica e ao seu geoposicionamento.

O primeiro passo em direcção à concretização deste objectivo consiste na selecção de um suporte cartográfico de referência adequado, ou seja, na escolha da carta que irá servir de base a todo este processo. Esta escolha deve ser feita tendo em atenção a resolução espacial da informação vectorial a sobrepor posteriormente à imagem, e/ou

a precisão da pretensa carta a elaborar, tendo como base a imagem. É, pois, de todo o interesse que a escala da carta de referência seja sempre superior à da imagem a georeferenciar; tomando como exemplo a integração em ambiente SIG de uma imagem adquirida à escala 1:25.000, então a carta de referência deveria apresentar uma escala na ordem dos 1:10.000 (1:100.000 implica 1:25.000 ou 1:50.000). No caso presente optou-se por georeferenciar toda a informação relativamente aos ortofotomapas do Instituto Português de Cartografia e Cadastro (IPCC) à escala 1:10.000.

Em seguida torna-se necessário seleccionar os pontos (designados por pontos de controle) que permitem efectuar a correspondência entre as coordenadas da imagem, materializadas em linhas e colunas, e as coordenadas no terreno (reais), medidas em unidades angulares ou, mais frequentemente, lineares. A esta operação, que se revela determinante para a precisão da correcção geométrica, costuma ser adjudicado bastante tempo, e é normalmente levada a efeito pelos operadores mais experientes.

Os pontos de controlo subdividem-se em dois grupos: geométricos que correspondem, por exemplo, a cruzamentos e entroncamentos, cruzamentos de estradas com linhas de água, edifícios facilmente identificáveis, etc., e os radiométricos que advêm de uma diferente resposta espectral dos objectos (por exemplo, numa imagem de satélite o diferente grau de reflexão da luz em áreas urbanas e rurais origina uma destriça na tonalidade da imagem, a qual permite estabelecer uma separação credível entre as duas manchas).

Embora o erro diminua com o aumento do número de pontos, geralmente não é necessário utilizar mais do que quatro, pois os documentos rasterizados representam o território de uma forma plana. Esta correcção visa apenas eliminar o erro acumulado pelo papel e pelo processo de rasterização. Nas cartas 1:25.000 o erro, traduzido no terreno, após a correcção geométrica, ronda os dois metros, o que corresponde aproximadamente ao desvio de um *pixel*. Nas cartas 1:10.000 esse erro é menor, sendo apenas de 80 centímetros.

Outro aspecto que a correcção geométrica possibilita é a compatibilização entre escalas. Como é do conhecimento geral, a cartografia efectuada para cada escala possui um determinado grau de rigor. Assim, verifica-se, quando se sobrepõem espacialmente cartas obtidas a diferentes escalas, que estas não coincidem. Através da correcção geométrica é possível ajustar estas cartas, possibilitando uma compatibilização geográfica da informação.

Neste processo – georeferenciação – relacionam-se os pontos conhecidos da imagem com os seus correspondentes (já referenciados) num ficheiro vectorial ou raster (*seed file*). Dito de outra forma, é necessário recorrer a

uma regressão para calcular os coeficientes polinomiais que traduzem a relação entre a posição e geometria da imagem, e as suas congéneres reais. Os ditos polinómios representam-se por:

$$\begin{aligned}x &= a_0 + a_1 i + a_2 j \\y &= b_0 + b_1 i + b_2 j\end{aligned}$$

onde x e y são as coordenadas cartográficas de um ponto e (i, j) correspondem à localização do mesmo ponto na imagem. No entanto, esta operação só pode ser levada a efeito nos casos em que a transformação é linear e, consequentemente, a única alteração sofrida é a de localização, como se verifica nos processos de rotação e translação, bem como na utilização de polinómios com propriedades idênticas ao a seguir apresentado:

$$\begin{aligned}x &= \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-1} a_{kl} i^k j^l \\y &= \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-1} b_{kl} i^k j^l\end{aligned}$$

correspondendo m à ordem dos polinómios, variável que é introduzida no caso de se verificar a inclusão de deformações como por exemplo encurvamentos e torções.

Assim sendo, começou por se georeferenciar a imagem SPOT pancromática, na medida em que esta é a que apresenta uma maior resolução espacial (10 m), sendo este processo realizado com a ajuda de um ortofotomapa de 1998. Terminada a georeferenciação, a discrepância entre o ficheiro de base e o proveniente do satélite não deve ser superior a 5 m sobre o terreno, ou seja, o equivalente a metade de um *pixel* da imagem em questão. O processo foi depois repetido para as imagens SPOT XS e Landsat TM, verificando-se que para estas últimas o erro foi um pouco superior ao máximo estabelecido, em virtude da sua resolução espacial (30 m) condicionar de forma veemente a identificação de correspondências na imagem de referência (resolução de 0,5 m).

Parâmetros do processo de georeferenciação

IMAGENS	Pontos de Controlo	Graus de Liberdade	Erro Médio	Maior Erro
SPOT Pan	34	62	2,249	2,3
SPOT XS	18	30	5,850	9
Landsat TM	9	12	19,220	20

Quando chegou a altura de guardar a informação resultante do processo de correcção geométrica optou-se por, paralelamente, correr um processo de reamostragem,

de forma a que as imagens em questão adquirissem a resolução de 10 m da imagem original, escolhendo-se para o efeito o método do vizinho mais próximo, por este ser aquele que não altera os valores radiométricos dos *pixels*, respeitando assim a informação obtida pelos sensores.

A etapa seguinte justifica-se pela constatação de que é raro uma imagem abranger todos os níveis de radiância capazes de serem detectados pelo sensor, uma vez que dificilmente capta paisagens muito variadas do ponto de vista espectral (os níveis digitais ocupam uma pequena parte do intervalo compreendido entre 0 e 255, originando um contraste pouco nítido entre os diferentes tipos de ocupação). Assim, recorreu-se a processos de alteração de contraste baseados em técnicas utilizadas para melhorar a imagem disponibilizada.

Seguidamente, procedeu-se à restauração da imagem, com o intuito de eliminar os erros provenientes de uma fase de aquisição baseada na adaptação dinâmica (alteração de contraste). Dada a incapacidade do olho humano para conseguir distinguir mais do que cerca de 20 tons de cinzento, imagens com estas características são difíceis de interpretar. Desta forma é necessário modificar, através da alteração de contraste, o aspecto de uma imagem, de modo a facilitar a sua interpretação. Assim, os processos de alteração de contraste baseiam-se nas técnicas utilizadas para melhorar a forma e a imagem disponibilizada, as quais se dividem em três classes fundamentais:

1. Expansão Linear do Contraste
2. Expansão Linear do Contraste com Saturação
3. Equalização do Histograma

No caso presente, utilizou-se a primeira opção pelo facto desta se assumir como a operação que permite uma maior ampliação de contrastes e, logo, uma melhor identificação dos elementos que coexistem na superfície retractada. A expansão linear do contraste consiste em fazer corresponder o menor nível digital da imagem a 0, e o maior a 255, sendo os outros distribuídos igualmente pelo intervalo, através da expressão:

$$ND' = (ND - MIN) / (MAX - MIN) \times 255$$

em que:

ND' é o nível digital na imagem final;
 ND é o nível digital na imagem inicial;
 MIN é o mínimo nível digital da imagem inicial;
 MAX é o máximo nível digital da imagem inicial.

De salientar que todos os níveis digitais, quer se trate de uma imagem inicial ou final, constituem valores inteiros e, uma vez que a mesma expressão é utilizada para

todos os níveis, é usual efectuar-se este cálculo para a totalidade dos *pixel*, antes de se processar a imagem. Os resultados são armazenados numa matriz ou tabela de cor (*CLUT* - *Color Look Up Table*). Desta forma, através de uma *CLUT* e a partir de um nível digital inicial, encontra-se o correspondente nível digital final. A principal vantagem de adoptar esta prática é a sua eficiência em termos computacionais, pois envolve o cálculo integrado da globalidade das plataformas.

3.2. Tratamento e edição dos dados estatísticos

Da primeira selecção de dados, apresentada na tabela 1, fez-se uma segunda escolha, optando-se apenas pela informação relativa aos edifícios, na medida em que essa é a que pode mais eficazmente ser correlacionada com a reflectância. A seguir identificaram-se as subsecções onde, pura e simplesmente, não existiam edifícios e que, portanto, não são urbanas. Este ficheiro foi cruzado com a rede viária (está integrada no tecido urbano, mas efectivamente não o é), dando origem à primeira dicotomia urbano-rural. O tratamento propriamente dito dos dados estatísticos começou com a sua ordenação e a posterior criação de índices. Deste modo, criaram-se novas variáveis, expressas em termos de probabilidade de ocorrência, que se passam a descrever:

$$HP(\text{Habitação plurifamiliar}) = EMP / TE$$

com *EMP* a corresponder aos edifícios com mais de dois pisos (pavimentos) e *TE* ao total de edifícios.

$$HU(\text{Habitação unifamiliar}) = EPP / TE$$

onde *EPP* são os edifícios com um máximo de dois pisos.

$$CS(\text{Comércio e serviços}) = EPNR / TE$$

simbolizando a sigla *EPNR* o número de edifícios afectos a um uso principalmente não residencial.

$$NA(\text{Núcleo antigo}) = ECA / TE$$

afectando o acrónimo *ECA* aos edifícios construídos até 1945, inclusivamente.

Se os índices *HP* e *HU* não oferecem problemas, já os outros dois levantam algumas questões, nomeadamente às percentagens que vão ser des afectadas dos dois iniciais, em consequência dos valores apresentados pelo *CS* e *NA*. Ou melhor, o somatório das probabilidades destes quatro índices tem que ser igual a um, o que constitui um problema pois os dois últimos não são complementares aos primeiros, estando integrados no seu universo.

Assim, houve que estabelecer prioridades, definindo-se as seguintes regras:

1. Todas as áreas onde o *CS* é superior a 80% são classificadas como tal.
2. O *NA* é inalterável.
3. O *HP* e o *HU* são recalculados em função das probabilidades do *NA* dando origem a dois novos índices corrigidos *HPc* e *Huc*, respectivamente:

$$HPc = \frac{EMP - \left(\frac{NA}{2}\right)}{TE} \text{ e } Huc = \frac{EPP - \left(\frac{NA}{2}\right)}{TE}$$

Concluídas todas estas etapas, foi possível, através de uma análise de *clusters*, criar uma imagem que traduz as grandes áreas estruturantes do território em análise, constituindo uma banda de informação contextual que, segundo diversos estudos (FONSECA, 1999), ao ser incorporada num processo de classificação que utilize o algoritmo ISODATA, pode melhorar cerca de 10% a classificação final. No entanto, e face a algumas condicionantes (dificuldade em estabelecer um número adequado de classes para o ISODATA e os resultados não diferirem significativamente dos obtidos por outros métodos mais simples), este novo factor apenas foi utilizado para estabelecer, de uma forma mais eficaz, a cisão entre construído e não construído.

4. CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Resolvidos os problemas com os dados estatísticos e preparadas as imagens, começou-se o verdadeiro trabalho de edição destas últimas, onde como primeira abordagem se decidiu proceder a uma segmentação hierárquica do tipo divisão e fusão de forma a individualizar a mancha urbana. Deste modo, o primeiro passo foi retirar a área da imagem que corresponde ao Rio Tejo, portanto a parte identificada como água. Foi neste passo que se fez pela primeira vez uso da interacção com o informação não espectral (integração pré-processamento), na medida em que, muito embora os classificadores tradicionais consigam quase sempre identificar os *pixel* em questão com uma precisão de 100%, não resolvem o problema dos que apresentam uma mistura de vários usos (nomeadamente junto à costa), conhecidos no meio como *mixels*.

Nestas situações, é comum elementos da linha de costa serem classificados como água, e vice-versa, o que foi resolvido, neste caso, com o recurso ao ficheiro gráfico (corrigido) da delimitação das subsecções, que apresenta o limite de costa perfeitamente definido e que foi transformado num ficheiro raster binário, em que a área ocupada

por água tinha valor 0 e a restante 1. Assim, recorrendo às leis da álgebra linear foi possível, multiplicando todas as imagens por esta máscara, extrair todas as áreas de água.

Depois de extraída a informação relativa ao uso “água” foram calculados índices de vegetação para as bandas SPOT e Landsat, nomeadamente o NDVI (*Normalised Vegetation Index*) e o TVI (*Transformed Vegetation Index*), que, como todos os do género, registam a quantidade de biomassa existente à superfície, permitindo uma maior diferenciação entre o espaço construído e não construído.

No passo seguinte, foi aplicado o algoritmo de classificação não dirigida ISODATA para classificar as bandas espectrais e a banda contextual em diversas classes, tendo por objectivo a diferenciação entre construído e não construído, verificando-se que os melhores resultados foram obtidos pelas classificações mais generalistas.

Recorrendo à informação dada pela matriz de correlação entre as diversas bandas à imagem contextual, aos índices de vegetação e à fusão entre imagens, foi possível criar algumas composições coloridas que permitem diferenciar de forma clara o espaço urbano.

Reclassificando que se reveste de maior interesse de forma a criar uma imagem binária onde o valor da cor abaixo de um determinado limiar, passaria a zero, representando o espaço livre e as restantes áreas afectas ao meio urbano, tomariam valor um, criou-se a máscara *urbrur1*, que ao ser intersectada (operação SIG – AND) com a *urbrur2* dá origem ao mapa de espaços urbanos que serve de base à produção das superfícies de probabilidades.

O passo seguinte na persecução dos objectivos propostos correspondeu à aplicação de um algoritmo de máxima verosimilhança sobre o conjunto das imagens, de forma a obter as probabilidades espectrais de cada classe de uso, independentemente do seu carácter não urbano ou urbano. Estas últimas foram integradas com as probabilidades estatísticas através do classificador de *Bayes*, utilizando-se para o efeito um pequeno programa desenvolvido especialmente para o efeito e baptizado de *URBANOS*. A aplicação em questão está estruturada em dois módulos, sendo o primeiro designado SIG, na medida em que é nele que são apuradas as probabilidades finais de cada *pixel* pertencer a uma determinada classe; o segundo módulo, referenciado como calculadora, transforma o algoritmo numa espécie de classificador rígido, ou seja, retribui, numa análise *pixel a pixel*, a classe com maior probabilidade.

Por seu turno, os elementos situados fora da área urbana foram classificados apenas com o algoritmo da máxima verosimilhança. Dentro destes dois conjuntos de classificações surgem apenas três excepções à metodologia até agora apresentada: a rede viária, disponível em

formato digital, as praias, e o conjunto de equipamentos desportivos composto pelos campos de futebol e ténis. Nestes dois últimos foram utilizados algoritmos contextuais para melhorar a classificação, considerando-se que seria praia tudo o que reflectisse como urbano, mas não tivesse edifícios e se localizasse a menos de 200 m da linha de costa; para os campos de futebol e ténis foram considerados os *pixels* com uma resposta espectral na linha da vegetação rasteira e terra solta, respectivamente, com uma determinada área e a menos de 500 m de uma estrada. Para este caso ainda se confrontaram os dados com a planta de ordenamento do Plano Director Municipal (PDM), com o intuito de averiguar se este acrescentaria algo mais à classificação; no entanto, no caso de Oeiras, este plano é composto por classes bastante abrangentes, de modo que não foi possível optimizar a utilização desta informação.

Todos os dados entretanto apurados foram integrados mediante a aplicação de um algoritmo que assentava no pressuposto que uma classificação não se pode sobrepor a outra já atribuída, redundando este facto na seguinte ordem de operações:

1. Rede Viária
2. Núcleo Antigo
3. Equipamentos Desportivos
4. Comércio e Serviços
5. Outras Classes de Meio Urbano
6. Classes de Meio não urbano

O mapa resultante desta operação foi então sujeito a uma reavaliação pós-processamento, com base em regras consubstanciadas no PDM. Considerava-se, por exemplo, que existindo neste plano uma classe denominada indústria existente, se ela coincidissem com um espaço classificado como urbano então este último seria alterado para industrial. Tal não foi possível, pois as classes de ordenamento revelaram-se, como já foi dito, demasiado generalistas, não beneficiando em nada a classificação final. A título de exemplo, refira-se um espaço industrial situado a Nordeste na área de estudo, que, por estar incluso no tecido urbano e instalado num edifício de características em tudo idênticas aos destinados à habitação foi classificado como tal. Esperava-se que o PDM se reportasse àquele lugar como indústria existente, mas, ao invés, apresenta-se como urbano existente, validando portanto, a classificação do modelo.

5. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Chegado o epílogo de todo este processo de investigação resta apenas aferir a validade da metodologia implantada, o que, paradoxalmente, apesar de ser o último pro-

cedimento, acaba por se assumir como um dos mais (se não o mais) importantes. Para que este objectivo se concretize, importa antes de mais estabelecer quais os pontos de controlo a utilizar, ou seja, os pontos onde será feita a correspondência com a realidade. Aqui, coloca-se de imediato a questão de qual o número de pontos a utilizar.

No presente caso, visto estar disponível para a área de estudo a cartografia de uso e ocupação do solo obtida através da interpretação de fotografia aérea vertical, e considerando que, por muito correctos que sejam os métodos de recolha de amostras, estes podem sempre distorcer os factos, optou-se por uma verificação exhaustiva, *pixel* por *pixel*, de toda a imagem. Como primeira abordagem comparou-se a realidade do terreno com o método desenvolvido e os classificadores paramétricos tradicionais, nomeadamente, o do paralelepípedo, da mínima distância com distâncias normalizadas, e da máxima verosimilhança.

Para o efeito, recorreu-se primeiramente a um método estatístico discreto multivariado, conhecido como tabela de contingências ou matriz de confusão, que permite avaliar a exactidão semântica do mapa temático produzido face aos seus congéneres. Esta tabela estabelece a concordância entre a distribuição estatística das variáveis, correspondendo nesta situação às classes de uso do solo, recorrendo a uma classificação cruzada que estabelece todas as combinações possíveis.

A tabela cruza o mapa produzido pelo método de classificação com o que traduz a realidade (denominado de referência), dispondo as classes correspondentes ao primeiro em linhas e as correlativas à realidade colunas. Deste modo é possível contemplar as classes que foram adjudicadas a cada *pixel*, identificando-se dois tipos de erro: o de comissão (EC) que ocorre quando se atribui um *pixel* da imagem a uma classe a que ele não pertence, e o de omissão (EO) que se traduz em não atribuir a determinada classe um *pixel* que lhe pertence. Destas duas medidas podem extrapolar-se dois outros indicadores, conhecidos como precisão do produtor (PP) e precisão do utilizador (PU), os quais consideram que o primeiro está mais interessado na exactidão do processo de atribuição, e o segundo na qualidade do mapa produzido, sendo calculados através das expressões:

$$PP = \frac{N - EO}{N} \times 100 \quad e \quad PU = \frac{N - EC}{N} \times 100$$

Analisando os resultados numa perspectiva classe a classe (tabela 4), verifica-se que o URBANOS obtém constantemente melhores resultados, com a excepção das classes 4 (mato). O método proposto falhou completamente a classificação das áreas industriais porque, neste caso, dependia exclusivamente das regras de pós-classificação, visto que a qualidade da informação existente no plano que sustentava essas regras era tão duvidosa que

não permitiu identificar as áreas em questão. Ainda relativamente ao URBANOS, observa-se que este melhorou a precisão global (superior a 97%) das classes onde havia informação estatística disponível, nomeadamente as classes 1, 2, 5, 8, 9 e 13. De referir ainda que a classe 5 (Rede Viária) tem um resultado de 100%, porque já existia em formato digital, tendo-se procedido apenas à sua conversão de vectorial para raster. Por fim, resta referir que o classificador desenvolvido permite identificar classes (comércio e serviços) que são “invisíveis” para os satélites.

Para ter uma perspectiva, diga-se mais global, da validade dos resultados, calcula-se o índice conhecido como Kappa que mede a concordância entre as classificações multinominais dos dados de campo com os resultados do método aplicado. Esta concordância expressa-se através da expressão

$$Kappa = \frac{\sum_x p_{xx} - \sum_x (p_{xy} p_{yx})}{1 - \sum_x (p_{xy} p_{yx})} = \frac{k_1 - k_2}{1 - k_2}$$

onde:

$$k_1 - k_2 = \sum_x p_{xx} - \sum_x p_{xy} p_{yx}$$

$$p_{xy} = \sum_{j=1}^i p_{xy} \quad e \quad p_{yx} = \sum_{j=1}^i p_{yx}$$

Com p_{xx} a representar a probabilidade do *pixel* pertencer à classe x e ser classificado como tal, p_{xy} a hipótese de o mesmo *pixel* ser atribuído à classe y e, obviamente, p_{yx} a possibilidade inversa, ou seja, a de um elemento pertencente a y ser catalogado como x . Os resultados variam entre zero e um, correspondendo a unidade à analogia perfeita entre os dados.

Erros de comissão e omissão apresentados pelos quatro classificadores relativamente a cada uma das classes

Classe	Paralelepípedo		Mínima Distância		Máxima Verosimilhança		URBANOS	
	EO	EC	EO	EC	EO	EC	EO	EC
0	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.57	0.00	0.03	0.02	0.11	0.00	0.01	0.01
2	0.63	0.84	0.84	0.91	0.29	0.81	0.29	0.24
3	0.99	0.06	0.37	0.26	0.49	0.13	0.34	0.24
4	0.91	0.23	0.63	0.19	0.70	0.27	0.00	0.00
5	0.25	0.51	0.77	0.73	0.80	0.68	0.45	0.78
6	0.82	0.97	0.64	0.92	0.42	0.92	0.45	0.55
7	0.84	0.97	0.88	0.96	0.82	0.91	0.00	0.01
8	0.99	0.97	0.80	0.98	0.96	0.98	0.01	0.01
9	0.88	0.73	0.83	0.70	0.83	0.68	0.42	0.60
10	0.64	0.78	0.81	0.80	0.70	0.76	0.46	0.45
11	0.81	0.73	0.68	0.66	0.57	0.68	0.73	0.65
12	0.33	0.99	0.80	0.99	0.48	0.98	0.68	0.02
13	0.85	0.87	0.84	0.72	0.82	0.79	0.00	0.00

Observando os resultados apresentados pelos classificadores testados face a este índice ressalva a superior prestação (+33%) do algoritmo desenvolvido. Como seria de esperar, o método do paralelepípedo foi o que piores resultados apresentou e registou-se um certo equilíbrio entre os da mínima distância e máxima verosimilhança, com uma ligeira vantagem para o primeiro, face ao carácter assimétrico da distribuição dos dados.

Coefficiente Kappa relativo a cada um dos classificadores para a área teste

Classificador	Índice Kappa (0 - 1)	Exactidão Global (%)
Paralelepípedo	0,18	20,2
Mínima Distância	0,35	37,8
Máxima Verosimilhança	0,33	36,5
URBANOS	0,67	70,5

Numa primeira perspectiva, a exactidão global pode parecer insuficiente para considerar o método desenvolvido como uma opção válida; no entanto, há que ter em consideração que todos os factores incidiam no sentido de prejudicar a prestação do URBANOS. Com efeito, o mapa de uso do solo que serviu para validar os resultados corresponde ao ano de 1998 e as imagens de satélite são apenas de 1997 (Landsat) e 1995 (SPOT), havendo logo aí uma margem de erro a considerar, decorrente de possíveis alterações de uso durante esse desfasamento temporal. Um outro problema que esta metodologia pode apresentar prende-se com o carácter cíclico (dez em dez anos) dos censos, podendo estar-se a trabalhar, numa situação óptima, com dados do próprio ano, ou, em oposição, com dados que apresentam uma distância de 10 anos relativamente à fase de recolha. No presente caso, a informação oito anos, aproximando-se da situação mais crítica. Também as classes escolhidas funcionam como entrave a uma melhor classificação. A opção por uma carta de ocupação e uso do solo é no mínimo arriscada, tendo em atenção que o conceito de uso do solo está relacionado com a carga social (e económica) associada à noção de território; só existe uso do solo quando existe uma sociedade organizada; caso contrário, falar-se-á de ocupação do solo, que não implica "usufruto" dos espaços funcionais (na acepção mais lata do termo). A grande maioria das aplicações cinge-se unicamente ao plano da ocupação do solo, operando assim unicamente ao nível da reflectância onde os satélites estão "mais à vontade". Na prática, isto significa que é relativamente fácil distinguir entre edifícios com cobertura de telha e de betão, mas tudo se complica quanto a divisão se refere a edifícios plurifamiliares e unifamiliares, onde os segundos têm unicamente cober-

tura de telha mas os primeiros podem apresentar qualquer um dos dois.

Por fim, para terminar este rol de condicionantes enumera-se novamente a base de validação. Efectivamente esta foi realizada sobre um ortofotomapa à escala 1:10.000, o qual permite um nível de detalhe bastante superior ao das imagens de satélite; por outro lado, a análise foi manual, o que implicou uma interpretação por parte do operador, traduzida numa generalização implícita à noção de área mínima cartografada. Em termos globais o que se passa é que o foto-intérprete ao identificar, por exemplo, uma área de 5000 km² com um espaço verde incluso com 300 m² tem tendência a considerar tudo como mancha urbana enquanto na classificação automática de imagens de satélite, nem que exista um só *pixel* com reflectância diferente, ele é adjudicado à outra classe. Embora esta situação possa ser atenuada através da aplicação de filtros passa-baixo, nunca é totalmente resolvida, pelo que também deve ser considerada como uma fonte de possíveis erros.

Por fim, importa ainda avaliar a adaptabilidade deste encadeado de processos a novas situações, repetindo-se para o efeito, todos os passos expostos ao longo deste capítulo, mas para uma área diferente, situada na margem Sul do Tejo, mais propriamente no Concelho de Almada e que corresponde, grosso modo, ao arco Almada-Cacilhas. Os resultados foram bastante animadores (tabela 6), apresentando o URBANOS uma exactidão na ordem dos 92% (melhoria de cerca de 20%).

Coefficiente Kappa relativo a cada um dos classificadores para a área de verificação

Classificador	Índice Kappa
Mínima distância	0,46
URBANOS	0,89

A primeira hipótese avançada como justificação para esta nova realidade foi a informação contida no PDM de Almada, cujo grau de desagregação, bastante superior ao seu homónimo de Oeiras, permitiu a elaboração de regras mais eficazes. Contudo, este resultado poderia estar viciado pela área de verificação, ou melhor, esta, ao ser mais homogénea que a área de teste, poderia promover um resultado necessariamente melhor, dando a noção artificial de um bom desempenho por parte do classificador. Para salvaguardar esta situação aplicou-se também o classificador da mínima distância, que embora também tenha apresentado melhores resultados (46%), não teve uma melhoria tão evidente. Deste modo, considerando que os 11% que o método da mínima distância ganhou se deveram à menor diversidade de usos na área de verificação,

ção, ainda sobra uma margem de 9% no caso do URBANOS, que pode ser imputada a uma melhoria nas regras de pós-processamento.

BIBLIOGRAFIA

- ACHEN, M. (1992) - "Landsat TM Data for municipal environment planning. studies of vegetation indices on urban areas". *Proceedings of the XVII ISPRS congress*, Washington, USA, vol. 19.
- ANGEL, S. (1987) - *Bangkok land management study, The land and housing markets of Bangkok-strategies for public sector participation*. National Housing Authority, Bangkok.
- CAETANO, M.; SANTOS, J. P. e NAVARRO, A. (1997) - "Uma metodologia integrada para produção de cartas de uso do solo utilizando imagens de satélite e informação georeferenciada não espectral". *Cartografia e Cadastro*, 6, pp. 71-78.
- FORSTER, B. C. (1985) - "An examination of some problems and solutions in monitoring urban areas from satellite platforms". *International Journal of Remote Sensing*, 6, pp. 139-151.
- FRANCOS J. M. e MEIRI A. Z. (1989) - "A 2-D autoregressive, finite support, casual model for texture analysis and synthesis". *ICASSP*. Glasgow, Vol. 3, pp. 1552-1555.
- GONG, P. e HOWARTH, P. J. (1990) - "The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56, pp. 67-73.
- GONG *et al* (1992) - "Aplication of satellite and GIS technologies for land-cover and land-use at the rural urban fringe: a case study". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, N° 58, n° 4, pp. 439-448.
- HARALICK, R. M. (1979) - "Statistical and structural approaches to texture". *Proc. IEEE*, Vol. 67, n° 5, pp. 786-804.
- HARRIS P. e VENTURA, J. (1995) - The integration of geographic data with remotely sensed imagery to improve classification in an urban area". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, N° 61, n° 8, pp. 993-998.
- MESSEV, T. (1998) - "The use of census data in urban classification". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64, pp. 431-438.
- MESSEV, T.; LONGLEY P. e BATTY, M. (1996) - "RS/GIS and the morphology of urban settlements". LONGLEY, P. e BATTY, M. - *Spatial analysis: modelling in a GIS environment*, John Wiley & Sons, pp. 123-148.
- MOLLER-JENSEN, (1990) - "Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat-TM imagery". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, n° 6, pp. 899-904.
- NELLIS *et al*, (1990) - "Interfacing geographic information systems and remote sensing for rural land-use analysis". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol° 56, n° 3, pp. 329-331.
- SADLER G. J. e BARNSLEY, M. J. (1990) - "Use of population density data to improve classification accuracies in remotely-sensed images of urban areas". *Proceedings of the First European Conference on Geographical Information Systems (EGIS'90)*. Amsterdam, The Netherlands. 10-13 April, pp. 968-977, EGIS Foundation, Utrecht.
- SANTOS *et al*, (1996) - Integração da informação contextual na identificação de classes de uso do solo em dados de imagens de satélite". *Actas da Conferência de Cartografia e Geodesia*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 26 e 27 de Setembro.
- SUNAR, F. e MUSAAGLU, N. (1998) - "Merging multiresolution SPOT P and Landsat TM data: The effects and advantages". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, n° 2, pp. 219-224.
- TAN, T. N. *et al*, (1989) - "Texture feature extration based on primitive analysis". *ICASSP*, Glasgow,
- TENEDORIO, J. A. (1998) - *Téledétection en milieu périurbain - détection et localisation de changement de l'occupation du sol par intégration des données-satellite SPOT HRV dans un système d'information géographique*. Tese de doutoramento, Universidade de Paris XII, pp. 254.
- VAN DER MEER, F. (1997) - "What does multisensor image fusion add in terms of information content for visual interpretation?". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, n° 2, pp. 445-452.
- VANDERZEE, D. e EHRLICH, D. (1995) - "Sensitivity of ISODATA to changes in sampling procedures and processing parameters when applied to AVHRR Time-series NDVI data". *International Journal of Remote Sensing*, 16, pp. 673-686.